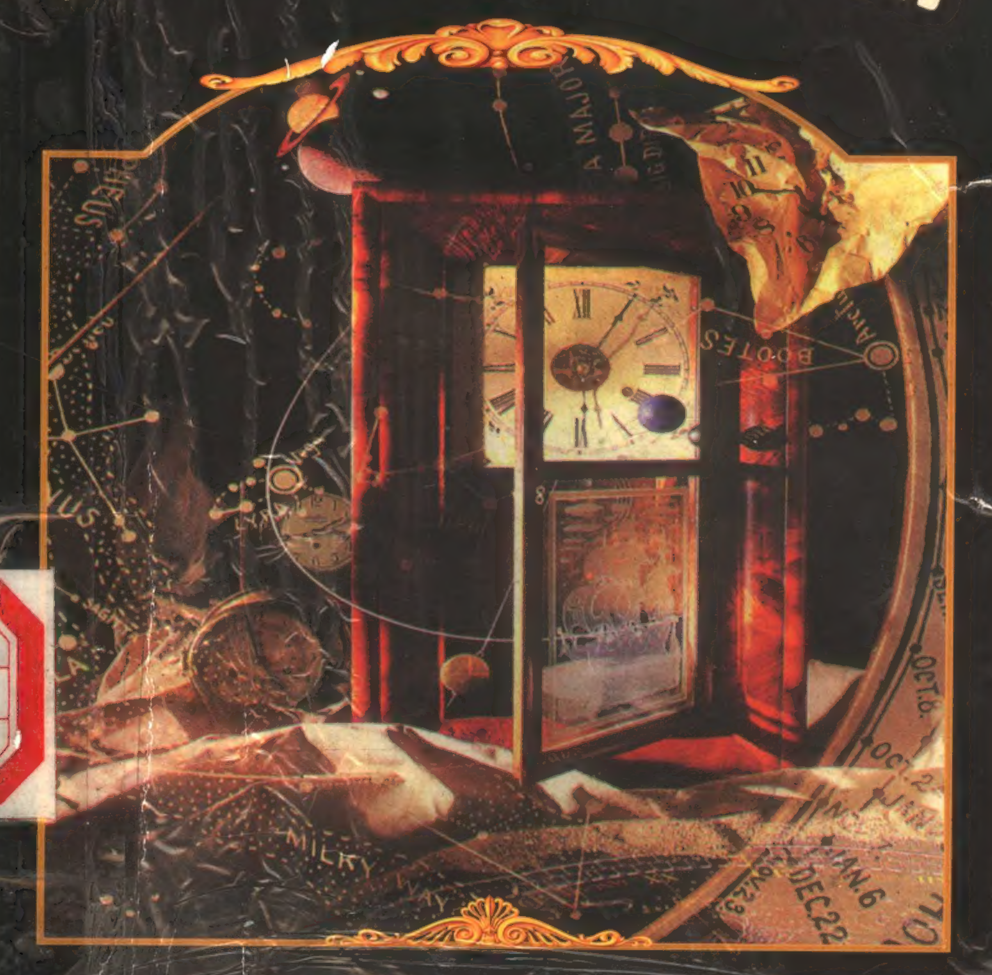
ASIMOV'S NEW GUIDE TO SCIENCE

[美]I·阿西莫夫 著

阿西莫夫最新科学指南

(上)



江 苏 人 民 出 版 社

ASIMOV'S NEW GUIDE TO SCIENCE

阿西莫夫最新科学指南

[美] I·阿西莫夫 著

（上）

江苏人民出版社

献　　给

和我一样热爱科学
并同我一起生活的——

珍妮特·杰普森·阿西莫夫

前　言

在探索宇宙的奥秘中,人类表现了不屈不挠的精神,他们以科学的方法为工具不断取得成效,凡是为此所强烈吸引的人,无不对科学的迅速发展感到激动和欢欣。

然而,如果一个人一心想跟上科学在各个方面的进展,以便把这种进展向大众进行解释的话,他又会感到如何呢?对他来说,这种激动和欢欣会被一种绝望所冲淡。

科学决不会停止不前。它就像回转画一样,即使在我们观察它的时候,它也在微妙地消失和变化。在任何时刻,如果我们想要看一下它的每一个细节的话,它就会立即把我们抛在后边。

1960年,《**聪明人科学指南**》出版了,科学的发展马上就超了过去。为了使读者了解像类星体和激光等新发现(1960年人们还不知道这两个词,但两年后就已经家

喻户晓了),1965 年又出版了《**聪明人科学指南新版**》。

但是科学仍在迅猛前进。1965 年以后,脉冲星、黑洞、大陆漂移、人类登月、快速眼动睡眠、引力波、全息摄影等各种新事物接连出现。

于是到了出第三次新版本的时候了。书名叫什么呢?《**聪明人科学指南新新版**》?显然不成。第三版直截了当地命名为《**阿西莫夫科学指南**》,于 1972 年出版。

科学仍然不肯停止前进的脚步。由于人类的探索,对于太阳系的了解已经可以写成完整的一章了。现在我们有了新的膨胀的宇宙、关于恐龙灭绝的新学说、夸克、胶子以及统一场论、磁单极、能源危机、家用电脑、机器人、间断的进化、致癌基因等等。

所以又到了出另一个新版本——第四版的时候了。因为过去每一版我都换一个书名,所以这一次也不例外。这次的书名为《**最新科学指南**》。

艾萨克·阿西莫夫

1984 年于纽约

(朱　岚　译)

目　　录

第一章 科学是什么?

在开始的时候几乎就是好奇心。

好奇心是一种强烈的求知欲,无机物是不会有的,而有些活的有机体也因为缺乏好奇心而显得全无生气。

一棵树无法以我们所能辨认的方式对它的环境表示好奇;海绵或牡蛎也同样不能。风、雨或海流带给它们所需要的物质,而它们也能够从中获取。假如遇到的是火、毒品、猎食动物或寄生物,它们也会安安静静地死去,就像活着的时候一样无声无息。

早在生命诞生的初期,某些有机体就已发展出一种独立运动的能力。这对它们控制环境具有重大意义。会动的有机体已不再是消极地等待食物,而是主动地去寻找食物。

于是世界上出现了冒险与好奇心。一个有机体如果在寻找食物的竞争中犹豫不前,过度保守,必然会惨遭挨饿的命运。因此,在早期,为了求生存,必须加强对环境的好奇心。

以蠕动方式寻找食物的单细胞草履虫,不可能像人类那样有自觉的意识和愿望,不过,它具有一种动力(即使只是"简单"的物理-化学的动力),使它好像是要在周围的环境中寻找食物或安全。这种由"好奇心"引起的动作我们最容易辨认,因为这种动作是与人类生命最为相近的那种生命所必不可少的。

当有机体变得越来越复杂时,它的感觉器官也更加多样化,而且更为复杂、更为精细,有关外界环境的更多的信息被接收进来。

与此同时,它也发展出(是因是果我们无法分辨)日趋复杂的神经系统,以储存或转译由感觉器官所接收到的信息。

求知欲

有时候,接收、储存、转译外界环境信息的能力超过了所必需。一个有机体吃得很饱而又无所事事,眼前又没有危险,它又会怎样呢?

或许它会像牡蛎一样陷入麻木的状态。但是高等有机体仍有探测环境的强烈本能,我们可以称之为“闲暇的好奇心”,虽然我们对此可以不予理会,但是我们可以以此来判断动物的智力。譬如,狗没事干的时候,会到处闻来闻去,听到人类不能听到的声音时,又会突然竖起耳朵;而猫有空闲时,不是在舔自己,就是安静地伸着懒腰睡大觉,由此我们可以判断狗比猫聪明。脑子越发达就越有兴趣探险,闲暇的好奇心也就越旺盛。猴子以它的好奇心闻名,它那忙碌的小脑瓜儿随时随地不断地在动。在这一点上,以及在其他很多方面,人类可说是超猴。

人脑是迄今已知的宇宙中最精巧组织的一团物质,它接收、组织、储存信息的能力远远超过生活的需要。据估计,在一生中一个人可以学到 15×10^{12} 个信息。

由于人脑的潜力如此巨大,所以人很容易被无聊所折磨。当一个人被限制在没有机会施展自己脑力(除了基本生存所必需之外)的情况下,会逐渐产生不愉快的症状,包括严重的精神分裂症。事实上,任何正常人的好奇心都很强,如果这种好奇心不能在正常情况下得到满足的话,它只好另找出路,甚至做出令人悔恨的行为。人们不是常说“好管闲事”和“少管闲事”吗?

即使要受到惩罚,人类也一向难以克制他们的好奇心,这从传

之已久的神话或传说中可见一斑。希腊有个潘多拉①及潘多拉的盒子的故事。潘多拉是世间第一个女人,宙斯给了她一个禁止打开的盒子。可想而知她很快就把盒子打开了,发现盒内全是疾病、饥荒、仇恨及各种邪恶的精灵,这些精灵全都跑了出来,从此危害人间。

圣经故事中夏娃被蛇诱惑的那一段,在我看来,蛇的工作简直易如反掌,而且我认为它甚至可以不必说那一段引诱夏娃的话,因为即使没有外界的引诱,夏娃的好奇心一定会驱使她尝一尝禁果的滋味。如果你想用比喻的方法解释圣经的话,你可以把蛇设想为人类这种内在冲动的代表。在传统的漫画中,夏娃手拿禁果站在树下,至于蜷在树枝上的蛇,只要再标个"好奇心"就可以了。

即使好奇心跟其他人类的冲动一样用在最不名誉的事情——刺探别人的私生活上,它仍然是人类精神中最高贵的天性,因为好奇心最基本的定义是"求知欲"。

这种求知欲最初表现在解决人类实际生活的需求上,例如:怎样耕种作物能获得丰收?怎样设计弓箭才最好用?怎样织布比较好?简单地说就是"应用艺术"。当这些比较基本的技能需求满足以后又如何呢?求知欲不可避免地会升级到比较不受限制和更复杂的活动上。

显然,为满足刚开始的无限的精神需求的"美术",是在无聊的痛苦中产生的。诚然,人们很容易找到美术更多的世欲的用途及产生的原因,例如绘画和小雕像被用来作为丰收的符咒和宗教的象征。但是人们不能不怀疑,是先有了物品,然后才想到拿它来作什么用。

---

① 本书有关希腊罗马神话人物的译名主要根据《希腊罗马神话词典》,鲁刚、郑述谱编译,中国社会科学出版社,1984年第1版。——译注

如果我们说美术产生于美感,那也是本末倒置的看法。美术一旦形成,就会不可避免地向美的方向扩展和提高,但即使没有这一过程,美术仍然会形成。毫无疑问,美术除了先于充实心灵的基本需要之外,也先于对它们的各种可能的需要或应用。

不仅从事美术创作可以满足精神需求,作品的玩味和欣赏对观众来说也有同样的作用。一件伟大的艺术品之所以伟大,正是因为它所提供的精神刺激不是其他地方可以轻易找到的,它所包含的复杂"信息"使脑子的活动超出平常的需求,除墨守成规或精神失常的人外,这种脑力活动是相当愉快的。

即使从事美术可以消磨闲暇时间,但也有它的缺点,那就是除了必须有充满活力及创造力的大脑外,还需要精巧的技术;至于不涉及技术的脑力活动,事实上与美术活动一样有趣,它所追求的是知识本身,而不是为了应用。

于是求知欲似乎相继被引入更微妙的领域,从而更有效地占有心灵——由完成实用的知识,进而完成美的知识,再升高到"纯"知识。

单就知识本身而言,是为了寻求解答诸如天空有多高、石头为什么会落下来等纯粹由好奇心所引发的一些问题。然而,并没有什么明显的目的使我们一定要知道天空有多高或为什么石头会掉落。高高在上的天空不会干扰我们日常的生活;至于石头呢,即使我们知道为什么石头会掉落,也不能使我们更灵巧地躲开它,或者碰巧掉在我们身上的话,让它打得轻一些。但是总有人会问那些看起来毫无用处的问题,并设法寻找问题的答案,这纯粹是出自于求知欲,为了使他们的大脑保持活动。

解决这种问题的明显的方法是:编造出一个合理的答案——从当时已知的资料中找出一个足以满足好奇心而又可以理解的答案。用"编造"这个字眼似乎太粗俗,太没有诗意了。古时候人们

喜欢把发现的过程归因于缪斯女神所赐的灵感，或来自天国的启示。不管是灵感还是启示，或是讲故事中的创造性思维，这些解释大都是类推得来的。例如闪电具有骇人的杀伤力，就像一把猛然投掷而来的利器，从而推导出一定有能够使用这一强大武器的巨人，因此在神话中，闪电便是雷公的锤或是宙斯的发亮的矛。超等的武器为超人所利用。

于是神话便这样诞生了。自然力都被拟人化而且封为天神。各神话间彼此互相影响，并由一代代讲神话的人加以补充提高，直到原来的面貌变得模糊不清。有些神话会变成哀婉的故事，而有些增添了伦理道德的内容后变得非常重要，竟然使它们在一种主要宗教的结构中有了意义。

就像艺术有美术和应用艺术之分一样，神话也有这种性质；神话可以维持其美的魅力，也可以适应人类的实际应用。举例来说，早期的农民相当关心下雨现象以及下雨为什么如此反复无常。人类把天地加以拟人化之后，发现下不下雨很容易解释。下不下雨要看地神或天神高不高兴。这种神话一旦被接受，农民就想到要用各种祭拜仪式来取悦于天地神而降雨，比如以饮酒狂欢的方式来让天地之神高兴等等。

希腊人

在西方的文学和文化遗产上，希腊神话是其中最美丽和最精彩的一部分。但希腊人最先也是以非人的和非生命的观点来看待宇宙的。对于编造神话的人来说，宇宙性质的不可预测正如同人的本性一样难以捉摸。虽然这些神拥有超人的神秘力量，但不管他们多么厉害，他们跟普通人一样也有轻浮、反复无常、激动、为琐碎小事发脾气等毛病。浩瀚的宇宙在这种霸道而又不可预测的神祇控制下，根本没有希望能了解它，只有听天由命。但是后来的希

腊思想家以新的观点来看待宇宙,认为宇宙是由不变的法则控制的一台机器。他们此时都致力于这种令人兴奋的智力活动,试图发现这些自然法则究竟是什么。

根据希腊的传说,第一个从事这方面研究的人是公元前 600 年的泰勒斯。后来的希腊作家们给他加上了无数个发现,而他可能是最先把整个巴比伦文化带到希腊来的人。他最惊人的成就据说是正确地预言了公元前 585 年的日食,后来果然发生了。

在探索自然法则的过程中,希腊人认为大自然是会公正处事的,也就是说,只要用正确的方式去探讨,大自然必定会披露出一些秘密,决不会中途改变立场或态度(两千年后,爱因斯坦心有感触地说:"上帝或许是神秘莫测的,但他绝无恶意。")。他们还认为自然法则一旦被发现就可以理解。这种希腊式的乐观精神一直留存到现在。

这种信念产生之后,人类就得创造出一套有条理的系统,以学会怎样从观察到的资料中找出内在的规律。运用既定的论证法则由一点推进到另一点必须运用"推理"。一个进行推理的人可以利用"直观"来指导寻找答案,但是必须依靠合理的逻辑才能检验某一种理论。举例来说,如果白兰地加水、威士忌加水、伏特加加水、甜酒加水都是有毒的,那么你可能很快就下结论说:在这些饮料中,致毒因子一定是共有的水。这种推理是错误的,但到底是哪里的逻辑错了并不明显;如果情况更复杂,要找出错误就更不容易了。

找出推理过程中的错误,从希腊时代至今,思想家们都引以为乐。然而系统逻辑的最早基础,则应归功于公元前 5 世纪的亚里士多德,他是第一个总结出严密推理规律的人。

人对大自然的智力游戏主要有三种:第一,要收集对大自然各方面的观察资料。第二,要把这些资料井然有序地组织起来(这

种组织不是要改变原来的资料，而是让它们比较容易处理。例如，玩桥牌的人都知道，把手中的牌依花色和大小秩序排列后，出牌比较方便）。第三，由这些资料中推导出一些概括观察结果的原理。

举例来说，我们观察到弹子在水中会下沉，木头会浮起，铁块会下沉，羽毛会浮起，水银会下沉，橄榄油会浮起等等，如果把所有会下沉的东西列在一起，会浮起的也列在一起，再找出能够分辨两组的特性，我们就可以得出结论：密度比水大的会下沉，密度比水小的会浮起。

希腊人把他们这种研究宇宙的新方法叫做哲学，意思是"对知识的喜爱"，或意译为"求知欲"。

几何学和数学

希腊人在几何学上贡献卓著，他们的成功主要是由于两种技术的发展：抽象和概括。

以下有个例子：埃及的土地测量者发现一个形成直角的简单方法，那就是把绳子分成12等份，以其中的3份为一边、4份为另一边、5份再为另一边，围成一个三角形，则3份边与4份边相接之处为直角。至于埃及人是怎样发现这种方法的则没有记载。埃及人的兴趣停止在如何应用它，但好奇的希腊人则致力于研究为什么这样的三角形会包含一个直角。他们分析的结果发现，构成直角三角形的物理条件本身只是偶然的，不管它是由绳子或亚麻布或木条板围成都无关紧要，它只是几条直线以某种角度相接而已。理想的直线是不受视觉约束的，只存在于想象之中。这个方法希腊人称为抽象法，也就是为了解决问题，把不重要的枝节删去，只考虑与问题本身有关的性质。

希腊的几何学家则更进一步，在解决各个问题时不一一分开

处理,而是找出一组问题的共同答案。例如,某人通过尝试可能发现直角不只出现在3、4、5的三角形上,在5、12、13的三角形或7、24、25的三角形上也会出现。但是这些只是数字,并没有什么意义,各种直角三角形会不会有什么共同的性质呢?仔细地推理后,希腊人发现形成直角三角形的惟一条件为:$X^2+Y^2=Z^2$,Z为最长的一边,而直角则在X边和Y边交接之处。我们可以验证3、4、5的三角形:$3^2+4^2=5^2$;5、12、13的三角形:$5^2+12^2=13^2$;7、24、25的三角形:$7^2+24^2=25^2$。这些只是无限种可能情形中的三种情形而已。发现这种关系永远成立的证据使希腊人受到启发,他们进而使用几何来作为发现或形成这种法则的极好工具。

很多希腊数学家对于几何图形中线和点的关系提供了证据,而关于直角三角形的定理是在公元前525年由毕达哥拉斯发现的,为了纪念他,这一定理至今仍称为毕氏定理。

大约公元前300年,欧几里得把当时已知的数学定理收集起来,并加以编排,使得每一个定理都可以由先前已证明过的定理来证明。但我们会立即想到,假如每一个定理都可以由已证明过的定理加以证明,那么如何证明第一个定理呢?答案是刚开始的前提非常明显,而且很容易被人接受,所以根本不需要证明,这称为公理。欧几里得设法把当时公认的公理化简成几个简单的陈述。就根据这几个公理,他建立了一个复杂而堂皇的体系——欧几里得几何学。历史上从未有人由如此简单的几个陈述推导出一个体系来。两千多年来,欧氏几何学一直被用作教科书,只有微小的改动,这是对欧几里得的最高褒奖。

演绎法

由一组公理推导出一个知识体系,这种方法叫做演绎法,这是相当吸引人的。由于几何学成绩斐然,希腊人竟爱上了这种游戏,

但也因此犯了两大错误。

第一个错误就是把演绎法当成寻求新知识的惟一可尊敬的途径。他们清楚地知道有些知识用演绎法推演并不合适,比如说由哥林斯到雅典间的距离就无法用抽象的定理来推演,而必须测量。当希腊人在需要时,愿意研究自然,但是总觉得羞耻,因为他们认为最高级的知识来自思维。他们有低估与日常生活直接有关的知识的倾向。有一个故事说柏拉图的学生在接受大师的数学指导时,最后很不耐烦地问:“但是这又有什么用处呢?”柏拉图很不高兴地吩咐仆人拿一枚硬币给那个学生,把他打发走了,口里说:“现在你不必再认为你所学的一切毫无用处了!”

这种自视清高的观点可能来自希腊的以奴隶为基础的文化,因为当时所有的日常琐事都由奴隶来担当。情况可能是如此,但我倾向于这样一种观点,即希腊人所认为的哲学是一种运动,一种智力游戏。社会上很多人觉得,从事业余运动的人社会地位比职业运动选手高。根据这种纯正的观念,我们要规定奥运会不准任何职业运动选手参加比赛,岂不荒谬可笑。希腊人这种“崇拜非实用知识”的哲理观,可能是建立在这样一种感情上,即让诸如雅典到哥林斯的距离之类的世俗琐事干扰抽象思维,就像让杂渣掺入纯哲学领域中一般。不论他们如何强辩,希腊思想家的这种态度已对他们造成了严重的限制。希腊对文明并不是没有实际的贡献,但是连他们的伟大工程师阿基米得都拒绝把他的实用性的发明和发现写出来。为了表明他“业余”的身分,只发表了他在纯数学上的成就。希腊人对于世俗的事——发明、实验或对自然的研究——缺少兴趣,只是束缚希腊思想的一个因素而已。希腊人把重心放在纯抽象或形式的研究上(在几何学上的确取得了极大的成功),使他们陷入了第二个大错误,最后,被引进了死胡同。

在用一些公理成功地导出几何学体系的鼓舞下,希腊人把公

理看成为“绝对真理”,而且认为其他学科的知识也可以用同样的方式来获得。于是,在天文学上他们把下列观念当成自明的公理:第一,地球是宇宙的中心而且是不动的;第二,地球是污浊的和不完美的,而天则是永恒不变的而且是完美的。由于希腊人认为圆是完美的曲线,而且认为天是完美的,所以他们认为星体应该是以圆形轨道绕地球运转。但是当时从航海和历书中,他们的观察表明,星球并不是以完美而简单的圆形轨道运转,所以被迫认为星球是以更复杂的轨道运转,对此公元150年托勒玫提出了一种极其复杂的体系。亚里士多德也由自明的公理提出了想象的运动理论,比如物体落下的速度与重量成正比。(每个人都会看到石头比羽毛落得快。)

后来,由自明的公理演绎的方法被逼得走投无路。当希腊人将公理包含的各个方面全部推导以后,在数学或天文学上更进一步的突破已变得不可能了。哲学的知识显得既完全又完美,甚至在希腊黄金时代结束2000年后,当有关物质宇宙的问题再次被提起时,仍有用“亚里士多德说……”或“欧几里得说……”作为问题圆满解决的倾向。

文艺复兴和哥白尼

希腊人在解决了数学和天文学上的问题后,便转向更微妙、难度更大的知识领域。其中之一就是人的灵魂。

柏拉图对于“什么是正义?什么是美德?”等问题,要比对“为什么会下雨?星球怎样运动?”等问题感兴趣得多。若说亚里士多德享有最高自然哲学家的地位,则柏拉图就是最高道德哲学家了。罗马时代的希腊思想家对道德哲学越来越感兴趣,而对自然哲学越来越疏远。普罗提诺于公元250年所提出的极为奥秘的“新柏拉图主义”,可算是古代哲学最后的一次发展。

此后基督教兴起,基督教教义着重在神的本性及神与人类的关系。基督教把道德哲学引入一个全新的领域,使它成为一种明显优于自然哲学的理性追求。公元200—1200年,欧洲人的研究几乎全都与道德哲学有关,尤其是对神学的研究。自然科学几乎无人问津。

虽然如此,阿拉伯人设法把亚里士多德、托勒玫等古希腊的自然哲学从中古时代保存下来;后来从阿拉伯人那里又逐渐回传到西欧。到了公元1200年,亚里士多德学说又复活了。更大的活力来自奄奄一息的拜占庭帝国,它是当时欧洲保留古希腊黄金时代连续文化传统的最后一个地区。

亚里士多德哲学重现以后的第一个最自然的结果,就是他的逻辑及推理系统在神学上的应用。公元1250年左右,意大利的神学家托马斯·阿奎那以亚里士多德学说为基础,建立了一套"托马斯学说",这套学说至今仍然代表着罗马天主教的基础神学。但是欧洲人很快也把复兴的希腊自然哲学应用在非宗教性的事物上面。

由于文艺复兴的领导人物把重心由神学的研究转移到人性的研究上,所以被称为"人文主义者",而对文学、艺术、历史的研究现在仍被称为"人文科学"。

文艺复兴时代的思想家们给希腊自然哲学引进了新的观点,因为旧有的理论已不能完全令人满意了。公元1543年,波兰天文学家哥白尼出版了一本大胆否定天文学公理的书,认为太阳才是宇宙的中心,而不是地球(但他仍然赞成地球及其他星球的圆形绕转)。这个新的学说为观察到的天体运转提供了更简单的解释。但是哥白尼所提出的转动的地球远不如古希腊人所说的不动的地球"自明",难怪哥白尼的学说半个世纪后才被人们接受。

从某种意义上来说,哥白尼系统本身并不是一项惊人的改变。哥白尼只是换了一个公理而已;早在两千年前的阿利斯塔克就已

经预测到太阳是宇宙的中心了。当19世纪的数学家基于不同的前提而向欧几里得公理挑战,并建立新的非欧几何学时,他们对于其他事物的想法造成的影响更为深远;今天我们对于宇宙的历史和它的构造所知道的一切,完全与非欧几何学符合,而不再是普通意义上的欧几里得几何学了。但是哥白尼所引起的革命却不只是更换一个公理,而是最终导致一套全新的研究大自然的方法,这个革命是由16世纪末意大利的伽利略进行的。

实验法和归纳法

希腊人一向把明显的事实当作推理的起点。历史并没有记载亚里士多德曾经把两块重量不同的石头一起投下去,来检验落下的速度与物重成正比的假设。对希腊人而言,实验似乎是不恰当的。这干扰了纯演绎的完美性。而且,如果实验和演绎的结果不符合,人们能够肯定实验结果是对的吗?不完美的现实世界会与抽象观点的完美世界完全相符吗?如不符合,是否应该让完美的观点向不完美的现实妥协呢?以不完美的仪器检验完美的学说,希腊哲学家并不认为这是获得知识的一种有效的途径。

在与托马斯·阿奎那同时代的著名哲学家R.培根以及后来的F.培根的大力支持下,实验法在欧洲才受到哲学方面的尊重。但是推翻古希腊人观点并实施这场革命的还是伽利略。伽利略是位令人信服的逻辑学家和杰出的宣传家。他清楚而生动地把他的实验和他的观点陈述出来,因而赢得了欧洲学术界的赞同。他们在接受他的成果的同时接受了他的方法。

伽利略最有名的故事是他用公开的实验证明亚里士多德落体学说的错误。据说他爬到比萨斜塔上面,将一个4.54公斤(10磅)重的球体和一个0.454公斤(1磅)重的球体同时丢下去,两球同时落地的声音粉碎了亚里士多德的落体学说。

其实伽利略很可能没有做过这个实验,但由于这个故事符合他所提倡的观点,所以这个传说几个世纪以来广为世人所深信。

伽利略真正做过的实验是,从斜坡上将球滚下,然后测量在一定时间内球所走的距离。他是做时间实验和进行系统测量的第一个人。

他的革命在于,在科学的逻辑方法上使归纳法重于演绎法。与其把结论建立在假设的法则上,不如从观察中归纳出法则(或公理)。当然连希腊人也知道由观察可以得出公理,例如欧几里得公理"两点间最短的距离是一条直线",就是根据经验作出的直观判断。但是希腊哲学家忽略了归纳法。近代的科学家视归纳法为获得知识过程中最重要的一环,并视之为证明法则的惟一方法。而且,现今的科学家深信,不一而再、再而三地进行新的实验,反复进行检验,法则是绝不可能站得住脚的,这也是对进一步归纳的继续检验。

现在总的观点刚好与希腊人相反。现在我们不再把现实世界看成是真理的不完美代表,而把法则看成不过是现实世界的不完美代表。因为,无论做多少次实验,都不可能使法则完全或绝对永远有效。即使我们的法则是由千百万次实验的结果推导出来的,只要有一次观察与法则矛盾或不一致,就必须加以修正。不论一个学说有多少次实验成功地加以证明,也无法保证下次实验不会把它推翻。

因此,这就成了现代自然科学的奠基石。任何人也不能说他所得到的东西是最终真理。因此"最终真理"这个词变得毫无意义,因为根本没有办法进行足够的观察而肯定真理一成不变,从而使之成为"最终真理"。但是希腊哲学家没有认识到这个限制。他们觉得,以同样的方法推论"什么是正义?"以及"什么是物质?"等问题,根本没有什么困难。而近代科学对于这两个问题有明显的

区分。由于归纳法无法从不能观察到的事物中推导出法则,所以,对于不能直接观察到的事物,如人类灵魂的性质,就不包含在归纳法的范畴以内。

现代科学直到建立了另一个重要的原则——所有科学家之间的自由交流与合作——才取得了完全的胜利。虽然现在我们觉得这种需要是理所当然的,但是古代及中时代的哲学家则很不以为然,如古希腊的毕达哥拉斯学派就是一个很神秘的组织,他们所有的数学发现都是秘而不宣的;中古时代的炼金术士因害怕别人学到技术,总是把他们所谓的发现描述得很模糊,而且只让很少的人知道。16 世纪意大利数学家塔尔塔利亚对于他发现的解三次方程的方法也守口如瓶,当另外一个数学同行卡尔达诺答应保密套出了他的秘密并出版成书公诸于世时,塔尔塔利亚勃然大怒,不过,除了气愤这位同行不守诺言之外,他倒是承认这种有益的发现应该出版公布。

在今天,如果一项发现被隐藏起来不发表,根本就不算是一项发现。在塔尔塔利亚和卡尔达诺以后 100 年,英国化学家波义耳强调所有出版的科学文件都要详细说明。而且,一项新的观察结果或发现,至少要有另一名研究者重复观察并予以"证实",才被认为有效。科学并不是个体的成果,而是"科学社团"的产物。

在这种社团中,最早并且最具有代表性的当推伦敦促进自然科学皇家学会,或简称皇家学会。这个组织是由一些对伽利略的科学方法感兴趣的人聚集起来的,于 1645 年创立,并且在 1660 年得到英国国王查理二世的正式认可。

皇家学会的会员经常聚会并公开讨论他们的发现,积极进行实验,并以英文而不是拉丁文写出报告。虽然如此,几乎整个 17 世纪他们还是处于"守"的地位。他们的许多同代学者的态度可以用一幅漫画来表示,这幅漫画用现代的方式画着毕达哥拉斯、欧几

里得和亚里士多德的高大身影,他们正在傲慢地注视着一群小孩子玩石子游戏,上面标着"皇家学会"。

皇家学会处境的完全改变,应归功于其中的一个会员——牛顿。他根据伽利略、丹麦天文学家第谷以及发现行星公转轨道为椭圆形的德国天文学家开普勒的观察结果,归纳出牛顿三大运动定律和最大的发现——万有引力定律。但牛顿仍用几何学和希腊式的演绎方法发表他的发现。他的发现发表后,举世愕然,几乎把他当成偶像来崇拜。从归纳过程中得到几个简单的假设,在这些假设的基础上建立起雄伟堂皇的新宇宙,现在倒使希腊哲学家们看起来像是小孩子玩石子游戏。17 世纪初由伽利略促成的革命,17 世纪末由牛顿圆满地完成了。

现代科学

如果能够说科学从此便一帆风顺,人类从此可以快乐地生活,那真是一件愉快的事。但事实是两者真正的困难才刚刚开始。只要科学继续是演绎的,自然哲学就可以成为所有受过教育的人普通文化的一部分。但是归纳的科学已经成为一种巨大的劳动——要观察、学习和分析,再也不是一种业余的游戏。而且科学变得一代比一代复杂,在牛顿之后的 100 年中,还有一些杰出的人物可以精通所有领域的科学知识,但到 1800 年,这已经变得根本不可能了。随着时间的推移,科学家们越来越需要把自己限制在一个很小的领域里,专攻非常专门的学问。科学的迅猛发展迫使学术专业化,而且对于科学家而言,专业化程度一代比一代强。

有关科学家学术成果的出版物从来没有像现在这么丰富过,但外行人也越来越看不懂。这是阻碍科学进步的一大障碍,因为科学知识的基本进展通常是来自各种不同专业知识的融合。更严重的是,如今科学已越来越远离非科学家。在这种情况下,科学家

被渲染成魔术师，是众人所惧怕而不是倾慕的对象。科学是不可理解的魔术，只有少数与众不同的人才能成为科学家，这种错觉使许多年轻人对科学敬而远之。

自从第二次世界大战以来，我们发现越来越多的年轻人，甚至包括在校的大学生，对科学产生了很大的敌意。我们的工业化社会建立在近200年以来科学发现的基础上，但我们的社会却越来越为它的成功所带来的副作用而烦恼。

进步的医疗技术使人口剧增；化学工业和内燃机在污染我们的水源和空气；物质和能源不断地消耗，使地球越来越枯竭。这些指控很容易归咎到“科学”和“科学家”身上，因为有些人不太了解，知识虽然造成问题，但不要知识并不能解决问题。

但是现代科学不需要对非科学家如此神秘，只要科学家担负起交流的责任，把自己那一行的东西尽可能简单并尽可能多地加以解释，而非科学家也肯洗耳恭听，那么两者之间的鸿沟或许可以就此消除。要能够满意地欣赏一门科学的进展，并不需要对科学有完全了解。没有人认为，要欣赏莎士比亚的戏剧，自己必须能够写一部伟大的作品；要欣赏贝多芬的交响曲，自己必须能够作一部同样的交响曲。同样地，要欣赏或享受科学的成果，也不一定要具备科学创造的能力。

那么我们能做什么呢？处在现代社会的人，如果一点也不知道科学发展的情形，一定会觉得不安，感到没有能力判断问题的性质和提出解决的途径。而且，对于宏伟的科学有初步的了解，可以使人们获得巨大的美的满足，使年轻人受到鼓舞，实现求知的欲望，并对人类智慧的潜力及所取得的成就有更深一层的理解。

我之所以写这本书，就是想借此提供一个良好的开端。

（朱　岚　译）

上　　篇

物理科学

第二章 宇 宙

宇宙的大小

人们在偶尔眺望星空的时候，并不觉得天空有多么遥远。小孩子很容易接受“牛跳过月亮”和“他跳得真高，摸到了天”之类的幻想。在流传神话的时代，古希腊人让阿特拉斯背负天体，一点也不觉得滑稽。当然这位天神可能是无比的高大，然而另一个神话表明并非如此。英雄赫剌克勒斯在完成闻名于世的“十二件奇迹”中的第十一件——去取圣园里的金苹果时，他让阿特拉斯帮助他去取金苹果，而自己站在山上扛着天穹。即使赫剌克勒斯算得上一个大个子，但他不是一个巨人。由此可以看出，当时希腊人非常平静地接受了这样的观念：天空比山顶仅高出几米而已。

在开始的时候，人们自然地认为，天空只不过是一个坚硬的天篷，那闪耀着的天体就是天篷上的钻石。早在公元前6—4世纪，希腊天文学家就已经认识到，天篷必定不止一层，因为那些“固定的”恒星在以一个整体绕地球运转时，显然没有改变它们之间的相对位置，但是太阳、月球和水星、金星、火星、木星、土星等五颗明亮的天体却不是这样：事实上，它们各行其路。当时把这七个天体叫做**行星**（希腊语“流浪者”的意思），很明显，它们不可能属于恒星的天篷。

希腊人曾经设想，每个行星都固定在各自看不见的天篷上，而

且天篷是一层套一层,最近的一层属于移动最快的行星。移动最快的行星是月球,每 $27\frac{1}{3}$ 天绕天空一周。希腊人认为,月球以外的几个行星的次序是:水星、金星、太阳、火星、木星和土星。

早期的测量

对宇宙距离第一次进行科学测量大约是在公元前 240 年。亚历山大图书馆(当时世界上最先进的科学机构)馆长埃拉托色尼考虑了这样一个事实:6 月 21 日中午,在埃及塞伊尼城①太阳正好在头顶上的时候,在塞伊尼城北边 8 000 公里的亚历山大城,太阳并不在天顶。埃拉托色尼断定,一定是因为地面弯曲而偏离太阳,才会发生这种情况。根据夏至那天中午在亚历山大城测到的日影的长度,运用简单的几何学知识,就可以计算出从塞伊尼城到亚历山大城 8 000 公里距离内地面弯曲的程度,如果设想地球是球形的话(那时希腊天文学家已经愿意接受"地球是球形的"说法了),可以进而计算出地球的周长和直径(见图 2-1)。

埃拉托色尼用希腊单位求出了这个答案。如果换算成我们今天的单位,他的数据是:地球的直径约为 12 800 公里(8 000 英里),周长约为 40 000 公里(25 000 英里),这些数字碰巧与正确的数值差不多,可惜的是,这些关于地球大小的准确数值没有被人们广泛地接受。大约在公元前 100 年,另一位希腊天文学家波西多留斯重复了这一工作,他所得到的地球周长是 28 800 公里(18 000 英里)。

这个较小的数字从古代到中古时代却广为人们所接受。哥伦布接受了较小的数字,认为只要向西航行 4 800 公里(3 000 英里)

① 即现在的阿斯旺。——译注

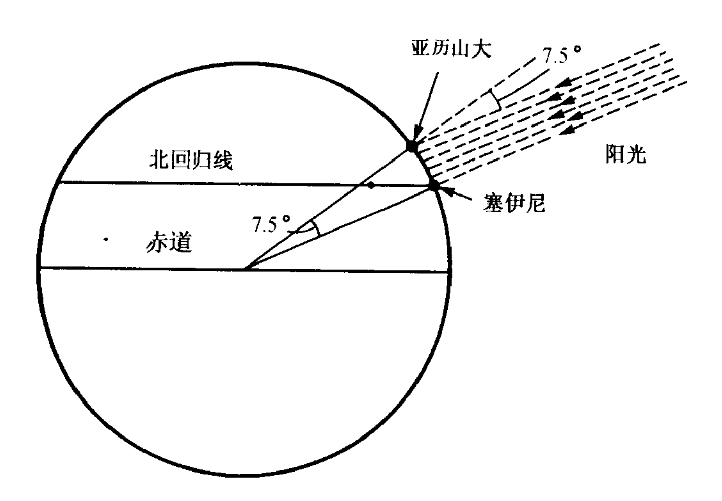


图2-1 埃拉托色尼利用地球的曲率测量了地球的大小：6月21日中午太阳位于塞伊尼城的头顶，同一时间，阳光却在亚历山大城形成7.5°的影子。由于知道两城之间的距离和在亚历山大城影子的长度，所以埃拉托色尼计算出了地球的大小

就可到达亚洲。如果他知道地球的真实大小，也许就不敢如此冒险了。直到1521—1523年，麦哲伦的船队（确切地说，是船队中幸存下来的一条船）环绕地球一周后，才最终证实埃拉托色尼的数值是正确的。

根据地球的直径，喜帕恰斯用一百多年前最大胆的希腊天文学家阿利斯塔克所发明的方法，在公元前150年计算出了地球到月球的距离。当时希腊人已经猜测到，月食是因为地球走到太阳与月球之间而引起的。阿利斯塔克认为，掠过月面的地球阴影应该能够显示出地球和月球的相对大小。在此基础上，利用几何的方法，就可以计算出地球到月球的距离（以地球直径来表示）。喜帕恰斯重复了这项工作，算得地球到月球的距离是地球直径的30倍。如果埃拉托色尼求得的地球直径为12 800公里是正确的话，

月球到地球的距离就是38.4万公里(24万英里)了。这个数字碰巧也是一个近乎正确的数字。

然而在设法解决宇宙大小的问题上,希腊天文学只是求出了月球的距离,至少从正确性方面来说是如此。阿利斯塔克曾经大胆地试图测定太阳到地球的距离。他用的几何方法在理论上是绝对正确的,但这个方法涉及到要测出角度的极小差值,不用现代的仪器是无法得到精确数据的。他断定地球到太阳的距离为地球到月球距离的20倍(事实上大约为400倍)。虽然他计算的结果是错误的,但他从这些数据中推断出太阳至少比地球大7倍,从而指出大的太阳绕小的地球运转是不合逻辑的,于是他断定是地球绕太阳运转。

遗憾的是,没有人相信他的话。以后的天文学家从喜帕恰斯开始到托勒玫为止,都是以不动的地球位于宇宙中心为基础来描述所有天体运动的,除了月球距离地球384 000公里以外,其他天体都在更远而尚未确定的距离上。这个体系一直统治到1543年,那一年哥白尼出版了他的书,重新回到阿利斯塔克的观点,永远废除了地球作为宇宙中心的地位。

测量太阳系

太阳位于太阳系的中心,仅仅这个事实本身并无助于测定行星间的距离。哥白尼采用了希腊人所测定的地球到月球的距离,但他并不知道地球到太阳的距离。直到1650年,比利时天文学家温德林以改进的仪器重复阿利斯塔克的观察,才断定到太阳的距离并不是到月球的20倍,而是240倍,即9 600万公里(6 000万英里)。这个估计仍然太小,但比过去精确多了。

在此期间,1609年,德国天文学家开普勒发现行星轨道是椭圆形而不是圆形,从而开辟了正确测定距离的途径。人们不仅第

一次能够精确计算出行星的轨道，而且可以绘制出太阳系的比例图，就是说能够绘制出太阳系所有已知行星的相对距离和轨道形状。因此，只要测出太阳系中任何两个行星间的距离有多少公里，所有其他行星的距离就可以立即计算出来。于是，太阳的距离不必像阿利斯塔克和温德林那样去直接计算，而只要测出地球与月球系统以外任何一个较近的天体（如火星或金星）的距离就可以了。

另一种用来估计宇宙距离的方法是利用**视差**。要说明什么是视差并不困难。将你的手指放在眼前大约 8 厘米远处，先以左眼看，再用右眼看，你的手指会相对于背影而移动了位置，这是因为你已经改变了你的观察点。假若你重复这一过程，把手指放远一些，比如说一臂远，你的手指仍会相对于背影位移，但这回移动得没有那么多。所以，可以利用移动的量来测定手指到眼睛的距离。

如果一个物体在 50 米远的地方，那么两眼可观察到的位移将会太小而测不出来，因此必须利用比双眼距离更宽的“基线”。但是我们只要先从某一点看那个物体，然后向右移 20 米再来观察它，便可以加大视差而很容易地测出物体的距离。测量员就是用这种方法测量河流或溪谷的宽度。

用同样的方法，以恒星为背景，可以精确地测出月球的距离。例如，从加利福尼亚天文台观测到月球相对于恒星的某个位置，而同时在英国的天文台观测，月球的位置则会稍有不同。从这种位置的改变，以及已知的两个天文台穿过地球的直线距离，便可以计算出月球和地球的距离。当然，在理论上，我们可以从地球两侧相对的两个天文台进行观测，这样就可以把基线扩展为地球的直径，这时基线长度为 12 800 公里。这样得到的视差角度除以 2 就是**地心视差**。

天体在天空的位移是以度或分、秒为单位来测量的。1 度为

环绕天空 1 周的 1/360,1 度又分为 60 弧分,1 弧分再分为 60 弧秒。因此 1 弧分为天空 1 周的 1/(360×60)或1/21 600,而 1 弧秒为天空 1 周的 1/(21 600×60)或1/1 296 000。

托勒玫利用三角学根据视差测出了月球的距离,而他的结果和早期喜帕恰斯的数据相吻合。月球的地心视差为 57 弧分(接近 1 度),这个位移相当于从 5 米处看到的一枚 5 分硬币的宽度。这即使用肉眼也可以测量出来。但是,如果要测量太阳或一个行星的视差,所涉及的角度就太小了。可以得出的惟一的结论是,其他天体比月球远得多。至于究竟有多远,没有人说得出来。

虽然中古时代的阿拉伯人及 16 世纪的欧洲数学家进一步完善了三角学,但是单靠三角学还是无法得到答案。直到 1609 年望远镜发明以后,才有可能测量微小的视差角度。(1609 年,伽利略在听到荷兰眼镜师做成放大镜筒之后,几个月内便发明了望远镜,并用来观测天空。)

意大利出生的法国天文学家 J.D.卡西尼于 1673 年测出火星的视差,使视差法越出了月球。在他测定出火星相对于恒星的位置的同时,在同一天的黄昏,法国天文学家里奇在法属圭亚那也在进行同样的观测。卡西尼将两个结果结合起来得到了火星的视差,从而计算出了太阳系的大小。他算出的地球到太阳的距离为 13 800 万公里,比实际距离仅少 7%。

从那时起,对太阳系中各种视差的测量越来越准确。1931 年,人们制定了一个测量小行星爱神星视差的庞大国际计划。当时,除了月球以外,爱神星是最接近地球的一个天体。此时爱神星显示出较大的视差,因此可以测量得非常精确,从而可以比以前任何时候都更精确地测定太阳系的大小。根据这些计算和利用比视差法更为精确的方法,现在我们已知道,地球与太阳间的平均距离约为 1.5×10^8公里,误差约为 1 600 公里。(因为地球的轨道为椭

圆形，所以实际距离变化为 14 710 万～15 220 万公里。）

日地的平均距离叫做一个天文单位（A.U.），太阳系内的其他距离也用天文单位表示。比方说土星和太阳的平均距离为 14.3×10^8公里，等于 9.54 个天文单位。随着天王星、海王星及冥王星等外行星的发现，太阳系的边界向外不断扩展。冥王星离太阳的平均距离为 59×10^8公里，相当于 39.87 个天文单位，而有些彗星距离太阳更远。

到 1830 年时，已经知道太阳系横跨数十亿公里的空间，但显然这绝非整个宇宙的大小，因为宇宙中还有许多其他恒星。

更遥远的恒星

在古代人们自然地认为，天上的恒星可能是固定在固体天篷上的小物体，而这个天篷就是宇宙的边界，比太阳系的外缘稍远一点点而已。这种观点虽然有些学者不同意，但直到 1700 年仍受到相当的尊重。

早在 1440 年，德国学者尼古拉斯即认为空间是无限的，而恒星是向各个方向无限延伸出去的太阳，每个太阳都跟随着一些可居住的行星。恒星之所以看上去不像太阳而像微小的光点，是因为它们的距离太遥远。可惜的是，尼古拉斯没有证据证实这些观点，而只是提出来作为一种见解。这种见解似乎只是一种胡乱猜测，所以没有受到人们的重视。

然而，1718 年，正在努力用望远镜测定各种恒星在天空的准确位置的英国天文学家哈雷，发现三颗最亮的恒星——天狼星、南河三和大角星——的位置与希腊天文学家的记录不符。这项差异太大了，因此不可能是误差，即使考虑到希腊人必须用肉眼观察这个事实，也不会有这么大的误差。哈雷的结论是，恒星并非固定在天篷上，而是像蜂群中的蜜蜂一样独立移动。这种移动非常缓慢，

所以看上去恒星像是固定住似的,直到有了望远镜才观测到恒星的移动。

恒星距离我们非常遥远,所以这种**自行**显得非常小。天狼星、南河三及大角星属于比较近的恒星,因此终于探测出它们的自行。由于它们离我们比较近,所以看上去显得特别亮。一般说来,恒星越暗距离就越远,所以它们的自行在从古希腊到现代的漫长时间里一直未能探测出来。

这种自行本身虽然可以证实恒星的距离,但并不能给我们以实际的距离。当然,与更远的恒星相比较时,比较近的恒星应该显示出视差。但是这种视差是无法探测出来的。即使天文学家以地球绕太阳的轨道直径(大约 3×10^8公里)作基线,在轨道相对的两端以半年的间隔进行观测,仍然观测不出视差。因此,即使最近的恒星也必定极其遥远。由于愈来愈好的望远镜仍无法测出恒星的视差,因此对恒星距离的估计也愈来愈远。恒星如此遥远我们仍能看见它们的亮光,可见它们必定像太阳一样是一些巨大的火球。这也证实尼古拉斯是正确的。

但望远镜和其他仪器在继续改进,在 19 世纪 30 年代,德国天文学家贝塞尔使用了一种叫做**量日仪**的新仪器,因为这种仪器最初是想用来精密地测量太阳的直径的。但用它同样能够测量天体间的其他距离,贝塞尔就用它来测量两个恒星之间的距离。贝塞尔月复一月地注意这些距离的变化,终于成功地测出了一个恒星的视差(见图 2-2)。他选择的是天鹅座的一颗小星,叫做天鹅座 61 星。他之所以选定这颗星,是因为这颗星相对于其他恒星背景每年都显示出特别大的自行,因此它一定比其他恒星离我们近。(不要把这种自行与恒星相对于背景的前后移动相混淆,后者表示的是视差。)贝塞尔以附近"固定的"恒星(可能要远得多)为基准,测定天鹅座 61 星连续移动的位置,持续观测了一年多。最后在 1838 年,他报告说

天鹅座61星的视差为0.31弧秒,即相当于把一枚5分的硬币放在16公里远处的宽度。这个视差是以地球轨道的直径为基线观测到的,这表明天鹅座61星在大约100万亿公里(64×10^{12}英里)远处,为我们太阳系宽度的9000倍。因此,即使和最近的恒星相比,太阳系也像是空间的一个小点。

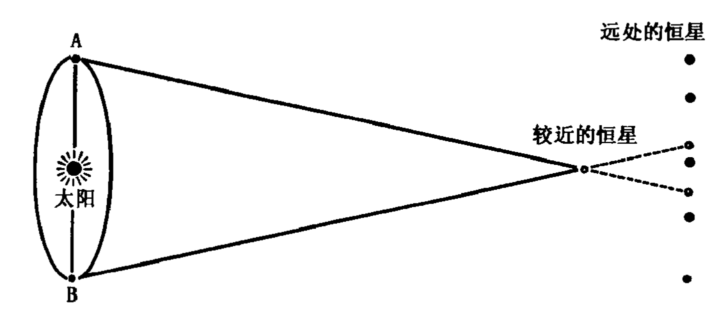


图2-2　从地球公转轨道上两个相对的观测点测出一颗恒星的视差

因为用万亿公里计算距离相当不方便,天文学家便以光的速度来计算距离,以便缩小数字。光速是每秒299792.458公里。光1年走的距离约为94605亿公里,叫做1 **光年**。利用这个单位,天鹅座61星距离地球约11光年。

在贝塞尔成功后仅两个月,英国天文学家亨德森就算出了半人马座α星的距离。这颗星是天空中第三颗最亮的星,但因位于南天低空处,所以在美国佛罗里达州坦帕纬度以北的地方看不到它。结果表明,半人马座α星的视差为0.75弧秒,是天鹅座61星的两倍多。因此,半人马座α星相应地距离地球近多了。实际上,它距离太阳系只有4.3光年,是我们太阳系最近的恒星邻居。其实它并不是一颗单独的星,而是由三颗恒星组成的。

1840年,在德国出生的俄国天文学家斯特鲁维宣布了天空中第四颗最亮的星织女星的视差。后来发现他的测量结果有点误

差,但这是可以谅解的,因为织女星距离地球远达 27 光年,视差非常小。

到 1900 年,约有 70 颗恒星已经用视差法测定出来(到 20 世纪 80 年代,已有数千颗),即使使用最精密的仪器,能够精确测量的极限距离也只有大约 100 光年,而更远处还有无数颗恒星。

我们的肉眼大约能看到 6 000 多颗恒星,而望远镜的发明使我们立刻明白了,肉眼所看到的只是宇宙很小的一部分。当伽利略 1609 年把他的望远镜指向天空时,不仅发现了以前看不到的新恒星,而且当他对准银河时,更使他大吃一惊。用肉眼看来,银河只是一条朦胧的亮带。伽利略的望远镜则将这朦胧的亮带分成无数颗恒星,就像爽身粉粒一样难以数计。

第一位想要弄明白银河真相的是在德国出生的英国天文学家 W. 赫歇耳。1785 年,W. 赫歇耳提出,天上的恒星是以透镜的形状排列的。如果我们朝银河望去,可以观察到很多恒星;而当我们朝与这个圆轮垂直的方向望去,天空中能看到的恒星就少多了。于是 W. 赫歇耳推断,天体沿着银河的长轴形成了一个扁平的系统。我们现在知道,在一定的范围内,这个图像是正确的。所以我们把我们的星系叫做银河系。

W. 赫歇耳试图估计银河系的大小。他假设所有的恒星具有大约相同的自身亮度,于是便可以根据恒星的亮度来估计恒星的距离。(根据一个著名的定律,亮度与距离的平方成反比,因此,如果 A 星的亮度是 B 星的 1/9,A 星的距离便是 B 星的 3 倍。)

W. 赫歇耳认为在银河系内约有 1 亿颗恒星。他又根据这些恒星的亮度等级,断定银河系的直径约为到明亮的天狼星距离的 850 倍,而银河系的厚度是这个距离的 150 倍。

我们现在知道,到天狼星的距离是 8.8 光年,因此 W. 赫歇耳的估计相当于银河系的直径为 7 500 光年,厚度为 1 300 光年。后

来证明这个估计太保守了。但是就像阿利斯塔克过于保守地测量到太阳的距离一样,这是朝正确方向迈出的一步。

人们很容易相信,银河系里的恒星就像一群蜜蜂一样运动着(正如我在前面所说的那样),同时,W.赫歇耳证明,太阳本身也在这样运动着。

1805年,在他花费了20年时间测定许多恒星的自行之后,发现天空中有一天区的恒星似乎总是从一个特殊的中心(**向点**)向外移动。与之正好相对的另一天区,恒星则总是向内朝着一个特定中心(**背点**)移动。

解释这个现象最容易的方法就是,假定太阳远离背点而朝向点移动,而星团的恒星随着太阳的接近而散开,并随着太阳的远离而靠近。(这是一种常见的透视效应。如果在一片树林中行走的话,我们就会看到这种效应。由于我们习惯了这种效应,所以很少加以注意。)

因此,太阳并不像哥白尼所认为的那样是宇宙不动的中心,而是在运动中,但不是像希腊人所想象的那样运动。太阳不是绕着地球运动,而是带着太阳系所有的行星在银河系中运动。现代的测量表明,太阳以每秒19.3公里(12英里)的速度向天琴座中的一点移动(相对于较近的恒星)。

1906年初,荷兰天文学家卡普坦,对银河系又进行了一次测量。由于他可以利用摄影,又知道较近恒星的真实距离,所以他作出的估计比W.赫歇耳的更精确。卡普坦断定,银河系的大小为宽23000光年,厚6000光年。因此,卡普坦的银河系模型是W.赫歇耳模型的4倍宽、5倍厚;但这个模型还是太保守了。

总之,到1900年对恒星距离的测量,就如同1700年对行星距离的测量一样。在1700年,到月球的距离已经知道了,但是对更远的行星只能猜测;在1900年时,较近恒星的距离知道了,但更远

恒星的距离也只能猜测。

测量恒星的亮度

紧接着又迈出了重大一步,这就是发现了新的测量标杆——某些亮度起伏不定的变星。这段故事是从仙王座中一颗相当明亮的恒星——仙王座 δ 星(造父一星)开始的。经仔细研究,人们发现这颗恒星的亮度有周期性的变化:经过最暗点亮度很快就增加到两倍,然后慢慢地暗下来,恢复到最暗点。它这样反复地变化着,非常有规律。天文学家还发现其他一些恒星也有同样规律性的变化;它们都以仙王座 δ 星(中文名造父一)来命名,所有这类变星都叫做**造父变星**。

造父变星的周期(从暗点到暗点的时间)从少于一天到近于两个月不等。距离我们太阳最近的似乎在一个星期左右,如仙王座 δ 星是 5.3 天;北极星是其中最近的造父变星,周期为 4 天。(北极星的亮度变化极小,无法用肉眼分辨出来。)

造父变星对天文学家的重要性就在于它们的亮度,对此我们必须稍离本题来解释一下。

从喜帕恰斯以来,恒星的亮度就以他发明的**星等**系统来标定。恒星越亮,星等就越低。他把 20 颗最亮的恒星叫做**一等星**,再暗一些就是**二等星**,然后是**三等星**、**四等星**、**五等星**,直到最暗淡的、用肉眼隐约可见的为**六等星**。

到了 1856 年,英国天文学家鲍格森把喜帕恰斯的观念定量化。他指出,所有一等星的平均亮度为六等星平均亮度的 100 倍。为了使这五个星等间隔表示的亮度比为 100,一个星等的比率必须为 2.512,就是说四等星的亮度为五等星的2.512倍,为六等星的 2.512×2.512 倍或 6.3 倍。

在恒星中,天鹅座 61 星是一颗 5.0 等的暗星(现在天文学可

以把星等确定到小数点后一位数,有时甚至可以确定到小数点后两位数);五车二是一颗 0.9 等的亮星;半人马座 α 星更亮,为 0.1 等星。当亮度更大时,可用零等星或负几等星来表示。天狼星是天空中最亮的一颗恒星,为 - 1.42 等星。行星金星的星等是 - 4.2;满月为 - 12.7;太阳为 - 26.9。

这些都是我们看到的恒星的**视星等**,而不是它们的与距无关的绝对**光度**。但是,如果我们知道一颗恒星的距离和它的视星等,我们就能够计算出它的真实光度。天文学家根据一个标准距离的亮度来确定“绝对星等”的标度,一个标准距离规定为 10 秒差距,或 32.6 光年。(1 秒差距即一颗恒星显示出 1 弧秒视差时的距离;大约相当于 30 万亿公里或 3.26 光年。)

虽然五车二看起来比半人马座 α 星和天狼星暗,但实际上它发出的光比这两颗星中的任何一颗都要强得多。它之所以看起来比较暗,只是因为它比这两颗星要远得多。如果它们都在标准距离上,五车二则是最亮的一颗星。五车二的绝对星等为 - 0.1,天狼星是 1.3,而半人马座 α 星是 4.8。我们的太阳和半人马座 α 星的亮度差不多,绝对星等为 4.86,是一颗普通的中等大小的恒星。

现在我们再回头谈造父变星。1912 年,哈佛天文台的一位天文学家勒维特对小麦哲伦云进行研究。南天中有两个巨大的恒星系统以麦哲伦的名字而命名,这是因为麦哲伦船队在环球航行期间首先观察到它们。在小麦哲伦云的恒星中,勒维特观察到 25 颗造父变星。她记录下每颗造父变星的变化周期,使她惊讶的是,她发现变化周期越长恒星的亮度就越大。

与我们邻近的造父变星并没有这种关系,但小麦哲伦云中的造父变星为什么会有呢?在我们邻近的恒星中,我们只知道造父变星的视星等,不知道它们的距离或绝对星等,所以没有可以把一颗恒星的变化周期与其亮度联系起来的标准。但是小麦哲伦云离

我们太遥远了,这就像一个纽约市的人试图计算芝加哥市的每个人同他之间的距离一样。他会得出这样的结论,所有芝加哥人都差不多与他同样远——在长达上千公里的总距离上,差一两公里又有什么关系呢?同样,小麦哲伦云远端的一颗恒星比近端的一颗恒星也远不了多少。

由于小麦哲伦云中的恒星都处在离我们差不多同样远的距离上,所以可以把它们的视星等作为比较它们的绝对星等的一种量度。因此,勒维特可以把她看到的那种关系看成是一种真实的关系,就是说,造父变星的周期随着绝对星等而平缓地增大。于是她画出了一条**周期 光度曲线**,这条曲线可以表明具有任一绝对星等的造父变星必定具有的周期,反过来,也可以表明具有一定周期的造父变星必定具有的绝对星等。

假设造父变星在宇宙的任何地方都像在小麦哲伦云里一样(一个合理的假设),那么,天文学家就有了一个测量距离的**相对**尺度,不管造父变星有多远,只要能用最好的望远镜探测到,就可以测量出它的距离。如果天文学家发现两颗周期相等的造父变星,便可以认为它们具有相同的绝对星等。如果造父变星 A 看上去有造父变星 B 的 4 倍亮,那么造父变星 B 必然有造父变星 A 的 2 倍远。用这种方法,可以把所有观测到的造父变星的相对距离画在一张比例图上。这样只要有一个造父变星的真实距离能够测定出来,所有其他造父变星的距离就都可以确定了。

不幸的是,即使最近的造父变星——北极星——也有几百光年远,无法用视差法测量出它的距离。天文学家必须采用间接的方法。一个可以利用的线索是自行:一般来说,越远的恒星自行就越小。(回想一下,贝塞尔断定天鹅座 61 星比较近,就是因为它有较大的自行。)为了测定星群的自行,人们使用了许多装置,还使用了统计学方法。虽然过程很复杂,但终于测出了含有造父变星

的各种星群的近似距离。根据那些造父变星的距离和视星等,便可以确定它们的绝对星等,从而可以把绝对星等和周期作以比较。

1913年,丹麦天文学家赫兹普龙发现,一颗绝对星等为-2.3的造父变星,周期是6.6天。根据这一发现,并利用勒维特的周期-光度曲线,他能够确定任何造父变星的绝对星等。(后来意外地发现,造父变星一般都是又大又亮的恒星,比我们的太阳亮得多。它们的亮度变化可能是脉动的结果。这些恒星似乎在不断地膨胀与收缩,就像是在做深呼吸一样。)

几年以后,美国天文学家沙普利重复了这项工作,并断定一颗-2.3绝对星等的造父变星周期为5.96天。他们两人的结果如此一致,天文学家们可以继续向前迈进了。他们有了自己的尺度。

确定银河系的大小

1918年,沙普利开始观测我们银河系的造父变星,想用这种新的方法来确定银河系的大小。他重点观测**球状星团**中的造父变星。球状星团是由几万至几千万颗恒星稠密地聚集在一起的球状集合体,直径大约为100光年。

这些星团(其性质一个世纪以前W.赫歇耳就首次观测过)呈现出完全不同于我们邻近空间的天文环境。在较大的星团中心,恒星以每10立方秒差距500颗的密度聚集在一起,而在我们邻近的空间中每10立方秒差距只有一颗恒星。在这种情况下,星光会比地球上的月光亮得多,假如在靠近这种星团的中心有一颗行星的话,这颗行星将不会有黑夜。

在我们的银河系中约有100个已知的球状星团,可能还有这么多个未被发现。沙普利计算出,各个球状星团与我们的距离为2万~20万光年。(最近的一个星团是半人马座ω,它同最近的一颗恒星一样,在半人马座里,用肉眼望去像是一颗星。最远的一个

星团是 NGC2419,它距离我们太远了,几乎难以把它当作银河系的成员。)

沙普利发现,这些星团分布在一个大球中,银道面从中间把大球切成两半,它们像晕一样环绕着银河系主体的一部分。沙普利自然地假设它们绕着银河系的中心转动。在他的计算中,他把银河系中由球状星团组成的这个晕的中心点定在人马座方向上,距离我们约 5 万光年。这意味着,正如 W. 赫歇耳及卡普坦曾认为的那样,我们的太阳系根本不在银河系的中心,而是远处银河系的一个边缘。

沙普利的模型把银河系描绘成一个直径为 30 万光年的巨大透镜。后来,另一种测量方法很快证明,这一次沙普利把银河系估计得太大了。

从银河系的形状像一个圆盘这一事实出发,自 W. 赫歇耳以来,天文学家一直推测,它必定在空间旋转着。1926 年,荷兰天文学家奥尔特开始测量这种旋转。因为银河系不是一块固体,而是由无数单个恒星组成的,所以不能指望它像轮子那样一块旋转,而是靠近圆盘引力中心的恒星必定比远处的恒星绕中心旋转得快(就像离太阳越近的行星在轨道上运行越快一样)。因此,靠近银心(即在人马座方向上)的恒星应该趋向于超前我们的太阳而移动;而远离银心(即在双子座方向上)的恒星在公转中应该有落后于我们的倾向。恒星离我们越远,速度的这种差异应该越大。

在这些假设的基础上,根据恒星的相对运动,就可以计算出绕银心旋转的速率。由此推算出,太阳以及附近的恒星约以每秒 240 公里(150 英里)的速率相对于银心公转,而公转一周需要 2 亿年左右。(太阳以接近于圆形的轨道运行,但有些恒星的轨道,如大角星,就近乎于椭圆形。不过恒星的运行轨道并不完全平行,这一事实正好说明太阳为什么朝着天琴座相对运动。)

在估计出旋转的速率值以后,天文学家就能计算出银心的引力场强度和它的质量。结果表明,含有银河系绝大部分质量的银心远大于1000亿个太阳的质量。由于太阳比一般恒星的质量大,因此银河系可能含有2000亿~3000亿颗恒星,是W.赫歇耳估计数目的3000倍。

从旋转恒星的轨道曲线,还可以找出它们绕行的中心。天文学家使用这个方法证实银河系的中心在人马座的方向上,就像沙普利所发现的那样,但离我们只有27000光年,而银河系的总直径则为10万光年,而不是30万光年。在这个目前被认为是正确的新模型中,圆盘在中心处的厚度约为20000光年,然后向边缘逐渐变薄:我们的太阳位于从中心到边缘2/3的地方,圆盘在这里的厚度约为3000光年(见图2　3)。但这些只是粗略的数字,因为银河系并没有非常明确的边界。

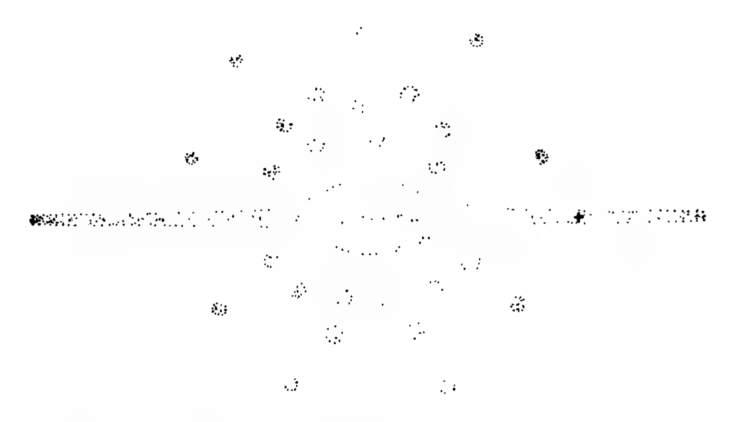


图2　3　从边缘处看到的银河系模型。球状星团散布在银河系中心部分的四周。太阳系的位置以+表示

既然太阳这么靠近银河系的边缘,为什么我们看到的银河在银心方向上并不比在相反的方向上(即我们朝边缘看的方向)更亮

呢？朝人马座看去时，我们面对着银河系的主体，大约有2000亿颗恒星，而向边缘望去时，只有几百万颗疏稀的恒星。可是，不论在哪一个方向上银河带似乎都一样地明亮。这可能是因为巨大的昏暗的尘埃云把银心大部分遮挡住了，我们无法看到。银河系外围区域的质量，有一半大概是由这种尘埃气体云组成的。我们所能看到的可能最多只有银心光亮的1/10 000。

正因为这样，W.赫歇耳及其他早期研究银河系的天文学家才误认为太阳系在银河系的中心，而后来沙普利似乎也因此过高地估计了银河系的大小。他所研究的一些星团因中间介入尘埃而变得暗淡，所以这些星团中的造父变星显得比实际的亮度暗淡，因此推算出的距离也比实际的远。

正在扩展的宇宙

甚至在银河系的大小和质量被确定之前，人们就已经利用麦哲伦云中的造父变星来测定这个星云的距离了(勒维特绘制了周期-光度曲线，这是一个关键性的发现)。结果证明，它至少和我们相距10万光年。现代最新的数字是，大麦哲伦云距离我们约15万光年，小麦哲伦云约17万光年。大麦哲伦云的大小不到银河系直径的一半；小麦哲伦云的大小不到1/5。此外，恒星的密集程度也比较稀。大麦哲伦云含有50亿颗恒星(不到我们银河系恒星数目的1/20)，而小麦哲伦云仅含有15亿颗恒星。

20世纪20年代初期的状况是这样的：已知的宇宙直径不到20万光年，由我们的银河系和它的两个邻居组成。于是产生了这样一个问题，在此以外是否还有什么东西存在？

人们把怀疑的目光投注在某些明亮的云雾状的小斑上，称之为星云(源自希腊语“云”)，天文学家早就注意到它们了。法国天文学家梅西耶早在1781年就把其中的103个编入了星表。(许多

星云至今仍沿用他所编的号码,在号码前面加上 M 字样,表示为梅西耶所编。)

这些星云状物质果真像人们所看到那样只是些云吗? 有些星云,如猎户座星云(荷兰天文学家惠更斯 1656 年首次发现),似乎就是一块气体尘埃云。猎户座星云的质量大约等于 500 个我们的太阳,由它内部的热星所照亮。然而,另一些星云状物质已经证明是球状星团,是由恒星组成的巨大集体。

但是仍有一些发亮的云斑似乎一颗星也没有。那么,为什么它们会发亮呢? 1845 年,英国天文学家 W. 帕森斯(即罗斯勋爵)使用他用毕生精力制成的 183 厘米(72 英寸)望远镜,确认这些云块中有一些具有旋涡结构,并命名为"旋涡星云",但这无助于解释发亮的原因。

这类星云中最为壮观的是位于仙女座里的仙女座星云,被称为 M-31。德国天文学家马里厄斯 1612 年首先研究的就是这块星云。仙女座星云是一个拉长的卵形云块,发出暗淡的光,大约有满月一半的大小。它会不会是由恒星组成的,只是由于太遥远,即使用高倍望远镜也分辨不出来? 如果真是这样,仙女座星云必然是难以置信地遥远,并且难以置信的庞大,因为在这样遥远的距离我们竟然还能看到它。(早在 1755 年,德国哲学家康德曾猜测有这种极远距离的恒星集合体存在,他称之为**岛宇宙**。)

20 世纪初对这件事有过激烈的争论。美国天文学家万玛伦报告说,仙女座星云在以可测量的速率旋转着。既然能测量到它,它必定距离我们相当近。假若远在银河系之外,就会因为太远而显示不出任何可以察觉到的运动。万玛伦的好朋友沙普利利用他的结论提出了仙女座星云是银河系的一部分的论点。

反对这种说法的是美国天文学家柯蒂斯。尽管在仙女座星云中看不到一颗星,但时常都有极其微弱的星在那里出现。柯蒂斯

认为这是一种新星,一种会突然增加几千倍亮度的恒星。在银河系时,这种恒星会发出短暂的非常亮的光,然后又暗淡下去,从而结束;但在仙女座星云中,它们即使在最明亮时也不容易被看到。柯蒂斯推断,新星之所以极其暗淡,是因为仙女座星云极其遥远。仙女座星云中的普通恒星合在一起仍然太暗而不能被发现,因而只能混合在一种微亮的云雾中。

1920年4月26日,柯蒂斯与沙普利举行了一次公开的辩论会。虽然柯蒂斯的口才非常好,并对自己的立场作了令人印象深刻的辩护,但总的来说是平分秋色。

但是几年后,事实证明柯蒂斯是对的。理由之一就是万玛伦的数字被证明是错的。原因尚不能肯定,但即使最聪明的人也会出错,而万玛伦显然是属于这种情况。

而后,1924年,美国天文学家哈勃在加利福尼亚州威尔逊山上把新建成的254厘米(100英寸)望远镜对准了仙女座星云。(这架望远镜是由J. B. 胡克资助建造的,因此命名为**胡克望远镜**。)这架强有力的仪器把仙女座星云的外缘部分分解成单个的恒星,于是立即显示出,仙女座星云(或至少其中一部分)和我们的银河相类似,那里可能就是所谓的"岛宇宙"。

在仙女座星云边缘的恒星中也有造父变星。利用这些测量标杆,哈勃断定这个星云距离我们将近100万光年!所以仙女座星云非常遥远,远在银河系之外。考虑到它的距离,它的视大小表明,它必定是一个巨大的恒星聚集,几乎可以和我们的银河系相匹敌。

结果证明,其他一些星云状物质也是恒星的聚集,甚至比仙女座星云更远。这些**河外星云**都被认定是星系——新的"宇宙"。这些新的"宇宙"使我们的银河系的地位大为降低,成为空间的许多星系之一。宇宙再一次扩大了。它比以前任何时候都要大,它的

宽度已不只是几十万光年,而可能是几十亿光年了。

旋涡星系

整个 20 世纪 30 年代,天文学家都在努力解决关于这些星系的一些令人烦恼的问题。一则是,根据他们假设的这些星系的距离,这些星系显然都比我们的银河系小得多。这似乎是一个奇怪的巧合:我们正好居住在一个最大的星系中。二则是,仙女座星系周围的球状星团的亮度似乎只有我们银河系中球状星团的 1/2 或 1/3。(仙女座星系的球状星团几乎和我们银河系一样多,并且它们围绕着仙女座星系的中心排列成球形。这个发现似乎证明,沙普利关于我们银河系的球状星团呈球形排列的假设是合理的。有些星系球状星团多得惊人,例如在室女座里的 M－87 星系,至少拥有 1 000 个。)

最严重的问题是,这些星系的距离似乎表明宇宙的年龄只有 20 亿年(理由我将在本章后面讨论)。这是令人费解的,因为地质学家认为地球本身的年龄大于 20 亿年,而且他们所利用的证据被认为是最可靠的。

第二次世界大战期间,这个问题才开始有了答案。当时一位在德国出生的美国天文学家巴德发现,以前用来测量星系距离的尺度是错误的。

1942 年,巴德利用战时洛杉矶灯火管制的机会,在夜空清澈的威尔逊山上,使用 254 厘米(100 英寸)望远镜,对仙女座星系进行了仔细研究。由于能见度增高,使他能够分辨出仙女座星系内部区域的一些恒星。他马上注意到,这些恒星与这个星系的外围恒星有显著的差异。在内部最亮的恒星带红色,而在外围最亮的恒星则带蓝色。而且,内部的红巨星远不如外围的蓝巨星亮:后者的亮度有我们太阳的 10 万倍,而前者只有 1 000 倍。最后,在

仙女座星系的外围发现明亮的蓝星的地方，布满了尘埃；而在内部，尽管是一些不太明亮的红星，却没有尘埃。

巴德认为，那里好像有两类具有不同结构和历史的恒星。他把外围带蓝色的恒星叫做**星族Ⅰ**，而把内部带红色的恒星叫做**星族Ⅱ**。后来证明，星族Ⅰ的恒星比较年轻，金属含量高，在星系的中间平面上沿着近乎圆形的轨道绕星系中心运行。星族Ⅱ的恒星则比较老，金属含量低，轨道呈明显的椭圆形，而且与星系的中间平面有相当大的倾角。后来，这两个星族又被细分为更多的次群。

战后，由美国天文学家海耳监制的新508厘米(200英寸)海耳望远镜在帕洛马山上落成，巴德继续进行他的研究。他发现，这两个星族在分布上有一定的规律性，而这些规律是由有关星系的性质决定的。有一类星系叫做**椭圆星系**(呈椭圆形状，而且具有较均匀的内部结构)，这类星系显然主要是由星族Ⅱ的恒星组成的，如同任何星系中的球状星团那样。另一类叫做**旋涡星系**(具有旋臂，看上去就像一个玩具风车)，它的旋臂是由星族Ⅰ的恒星组成的，相对于星族Ⅱ背景。

据估计，宇宙中只有大约2%的恒星属于星族Ⅰ类。但是我们的太阳和我们附近的一些熟悉的恒星都属于这一类。仅根据这一事实，我们就可以推断，我们的银河系是一个旋涡星系，而我们位于它的一个旋臂上。(因为银河系的旋臂聚集着尘埃，因此在我们的附近有许多或明或暗的尘埃云。)从照片上可以看出，仙女座星系也是旋涡星系。

现在再来谈尺度。巴德开始把在球状星团(星族Ⅱ)中发现的造父变星和在我们这一旋臂(星族Ⅰ)上发现的造父变星加以比较。结果表明，就周期和光度之间的关系来说，两个星族里的造父变星确实属于两种不同的类型。星族Ⅱ的造父变星遵循勒维特和

沙普利建立的周期－光度曲线。利用这一尺度，沙普利相当准确地测量了球状星团的距离和我们银河系的大小。但是，现在发现，星族Ⅰ的造父变星是一种完全不同的尺度！一颗星族Ⅰ的造父变星的光度是一颗周期相同的星族Ⅱ的造父变星的4倍或5倍。因此，使用勒维特的尺度，根据一颗星族Ⅰ造父变星的周期，来计算它的绝对星等，就会得出错误的结果。绝对星等错了，距离的计算也一定是错的：这颗恒星实际上要比计算出来的距离远得多。

哈勃曾利用仙女座星系外围（星族Ⅰ）的造父变星来推估仙女座星系的距离，当时只有这些造父变星能够辨认出来。现在，利用修正了的尺度，测出这个星系距离我们大约250万光年，而不是不到100万光年。其他星系也按比例向外推移。（但是，仙女座星系仍然是我们的一个近邻。星系间的平均距离估计约为2000万光年。）

就这么一修正，已知宇宙的范围就扩大了一倍多，30年代困扰的问题也迎刃而解了。我们的银河系不再是最大的了，例如，仙女座星系就肯定比我们的银河系大。再者，现在看来，仙女座星系的球状星团同我们银河系的一样亮；以前只是因为距离计算错了而觉得它们比较暗。最后，新的距离标准可以使宇宙的年龄剧增，从而使宇宙的年龄能和地质学家所估计的地球的年龄一致起来了。（我将在后面说明理由。）

星系团

星系的距离加倍并没有使宇宙大小的问题完全解决。我们现在必须考虑由星系团和星系团集团组成的更大系统的可能性。

事实上，现代望远镜已经证实，星系团确实存在。例如，后发星座里有一个巨大的椭圆形的星系团，直径约为800万光年。后发星系团含有大约11000个星系，彼此间的平均距离只有30万

光年。(而在我们附近的星系团中,星系间的平均距离大约是300万光年。)

我们的银河系似乎是**本星系群**的一部分,本星系群包括麦哲伦云、仙女座星系和它附近的三个**小伴星系**,加上一些其他星系,共有19个成员。这些成员中,由意大利天文学家马费伊首先报道的马费伊1和马费伊2直到1971年才被发现,这是因为在它们和我们之间有尘埃云,只有透过这些尘埃云才能探测到它们。

在本星系群中,只有我们的银河系、仙女座星系和两个马费伊星系是巨星系,其余的都是矮星系。矮星系之一的IC1613可能只含有6000万颗恒星,几乎并不比一个大的球状星团大。在星系中,如同在恒星中一样,矮星系比巨星系多得多。

如果星系的确组成星系团,星系团又组成更大的集团,这是否意味着宇宙会无限地扩展下,空间是无限的呢?或者宇宙和空间都有尽头?现在天文学家能辨认出大约100亿光年远的天体,在那里它们似乎达到了一个极限。要知道为什么,我必须把讨论的方向稍微转移一下。我们已经讨论了空间,下面让我们来讨论一下时间。

宇宙的诞生

神话作者们编造了许多创造宇宙的奇异故事(通常主要涉及地球本身,而把其余一切都当作“天空”或“天”干脆不予考虑)。一般来说,这些神话都把世界诞生的时间定在不太遥远的过去。

我们最熟悉的创世故事当然是《**创世纪**》第一章了。有人认为,它是根据巴比伦神话改编的,后来只是加强了诗的美感和道德的色彩。

人们作过各种努力,试图根据《**圣经**》上记载的数据推算出创

世的日期(例如不同国王在位的年代、希伯来人从出埃及到奉献所罗门神殿的时间、大洪水前后亚伯拉罕、以赛、雅各和他们的祖先的年龄等等)。中世纪的犹太学者把创世的日期定在公元前3760年,至今犹太历仍从那个日期开始计算年代。1658年,英国圣公会的厄谢尔算出创世的日期为公元前4004年,而附和者将日期更精确地定在那一年10月22日的下午8点。希腊正教会的一些神学家则将创世日定在公元前5508年。

甚至迟至18世纪,《圣经》上的说法仍为学术界所接受,宇宙的年龄被认为只有6000~7000年。1785年,苏格兰博物学家赫顿出版了一本名为《**地球论**》的书,使这种观点第一次受到沉重打击。赫顿一开始就提出这样一个命题,即地球表面上发生的缓慢的自然过程(如高山的形成和侵蚀,河道的冲凿,等等),在整个地球史上都是以大致相同的速率进行的。这个**均变说**意味着,这些过程必然进行了相当长的时间才产生出这些可以观测到的现象。因此,地球的年龄绝不止几千年,而是几百万年。

赫顿的观点立即受到嘲笑,但却渐渐地起了作用。19世纪30年代初期,英国地质学家C.赖尔重申了赫顿观点,并在三卷巨著《**地质学原理**》中提出了鲜明有力的证据,使科学界赢得了胜利。现代地质学可以从他的著作之日算起。

地球的年龄

许多人试图以均变说为基础来计算地球的年龄。比方说,假若有人知道每年因水的作用而产生的沉积物的量的话(现代的估计是每880年30.48厘米),那么,他就可以由沉积岩的厚度计算出它的年龄。但是人们很快就明白了,用这个方法无法精确地确定地球的年龄,因为侵蚀、碎裂、隆起及其他力量的作用使岩石的记录变得模糊不清。尽管如此,就连这种不完全的证据也表明,地

球的年龄至少有5亿年。

另一个测定地球年龄的方法,是估计海洋中盐分的聚集率,这个方法是哈雷在1715年首先提出来的。

河流不断地将盐冲到海中,因为淡水通过蒸发而离开海洋,所以盐的浓度逐渐增加。假设海洋一开始全是淡水,那么河流要使海洋有3%的含盐量必须要有10亿年的时间。

这个巨大的年龄非常符合生物学家们的需要。19世纪后半叶,生物学家试图描绘出生物从原始的单细胞生物发展到复杂的高等动物的缓慢进程。他们需要漫长的时间来发生这一过程,而10亿年给了他们足够的时间。

可是,到了19世纪中叶,天文学上的一些问题突然变得复杂起来。例如,能量守恒定律提出了一个与太阳有关的有趣的问题。太阳不断喷出大量的能量,而且有史以来一直如此。假若地球存在了无数世纪,那么太阳的这些能量是从哪里来的呢?它不可能来自人们通常熟悉的能源。假如太阳一开始就是在氧的大气中燃烧的煤块,那么,按照它释放能量的速率来计算,在2500年中就会全部变成二氧化碳。

德国物理学家亥姆霍兹是提出能量守恒定律的科学家之一,对太阳特别感兴趣。1854年,他指出,假如太阳正在收缩,它的质量在向重心下落的过程中会得到能量,就像石块下落时得到能量一样。这种能量可以转变为辐射。亥姆霍兹计算出,太阳只要缩小1/10000的半径,就能够给它提供2000年释放的能量。

后来被称为开尔文勋爵的英国物理学家W.汤姆孙对此做了更多的研究,并据以推断地球的年龄不可能超过5000万年,因为根据太阳消耗能量的速率来看,太阳要缩小到今天这样大,最初一定会和地球公转轨道一样庞大。(这个假设当然也意味着,金星一定比地球年轻,而水星更年轻。)W.汤姆孙进而估计,假如地球本

身开始时是一团熔融的物质，那么，冷却到现在的温度所需的时间，也就是它的年龄，大约是2000万年。

到19世纪90年代，对立的双方拉开了阵势。物理学家似乎已肯定地证明，地球以固态存在绝不会超过几百万年，而地质学家及生物学家似乎也同样肯定地证明，地球以固态存在必定超过10亿年。

之后，一些完全没有预料到的新发现瓦解了物理学家的阵垒。

1896年，放射性的发现使问题得到了澄清，地球的铀元素和其他放射性物质会释放出大量的能量，并且已经进行了很长的时间。正如1904年新西兰出生的英国物理学家卢瑟福在一次演讲中首先指出的，这个发现使W.汤姆孙的计算变得毫无意义。已经上了年纪的W.汤姆孙本人也听了这次演讲，并表示不同意卢瑟福的观点。

如果不把放射性物质不断提供给热量这一事实考虑在内，而试图确定地球冷却的时间，那是没意义的。有了这个新的因素，地球从一团熔融的物质冷却到现在的温度，可能所需要的时间就不是几百万年，而是几十亿年了。地球甚至可能因放射性物质供给热量而愈来愈热。

实际上，放射性本身终于给地球的年龄提供了最可靠的证据(使用的方法将在后面第六章中叙述)，因为它可以使地质学家及地球化学家直接从岩石中铀和铅的含量计算出岩石的年龄。利用放射性时钟，现在已经知道，地球上的某些岩石年龄超过了30亿年，而且有充分的理由认为，地球的年龄要比岩石的年龄大。地球以目前的固态形式存在的年龄为46亿年，这个年龄现在是可以为人们接受的。从我们的近邻月球上带回来的一些岩石，证明月球差不多也是同样的年龄。

太阳与太阳系

太阳的情况又是怎样的呢? 放射性及有关原子核方面的发现,引出了一个新的能源,比我们以前知道的任何能源都大得多。1903年,英国物理学家爱丁顿经过一系列的思考后提出,太阳中心的温度和压力一定非常高:温度可高达1500万度。在这样的温度和压力下,原子核可以进行在温和的地球上无法进行的反应。人们知道,太阳主要是由氢构成的。若4个氢核结合成1个氦原子,这些氢核就会释放出大量的能量。

1938年,德国出生的美国物理学家贝特提出,在像太阳一类的恒星中心,将氢结合成氦有两种可能的方式:一种是直接由氢转换成氦;另一种则以碳原子作为中间媒介。在恒星中,这两种反应都可能发生;而在我们的太阳中,直接将氢转换成氦似乎是主要的机制。(爱因斯坦在1905年提出的狭义相对论中已经证明,质量和能量是同一事物的两个不同的方面,可以相互转化;而且还证明,少量的质量转化能够释放出巨大的能量。)

太阳辐射能量的速率要求太阳每秒减少420万吨的质量。乍看之下,这个损失似乎大得吓人,但太阳的总质量为22000000000000000000亿吨,因此每秒只损失其质量的0.0000000000000000002‰。如果太阳真的像科学家们现在认为的那样已经存在了50亿年,而且一直按现在的速率辐射能量的话,它也只是损耗了其质量的1/33000而已。由此不难看出,在今后的几十亿年内,太阳还能继续按照目前的速率辐射能量。

到了1940年,人们认为,整个太阳系的年龄约为50亿年看来是合理的。有关宇宙年龄的全部问题大概可以解决了,但是天文学家们又陷入了新的困境。现在整个宇宙的年龄显得太年轻了,因而无法解释太阳系的年龄。这个麻烦是由天文学家对远星系的探测和奥地利天文学家多普勒1842年首先发现的一种现象引起

的。

大家都非常熟悉**多普勒效应**,最常见的实例就是火车通过时的汽笛声:当火车接近时笛声音调升高;而当火车远离时音调降低。音调的变化就是因为声源的运动使每秒钟撞击在耳膜上的声波数目改变了。

正如多普勒所指出的,多普勒效应不仅适用于声波,也适用于光波。当运动着的光源的光波到达眼睛时,如果光源移动得够快的话,频率会发生移动,就是说,颜色会发生改变。譬如说,假若光源向着我们运动,每秒钟就会有较多的光波挤进我们的眼睛,我们所看到的光就会向可见光谱的高频端(即紫端)偏移;反之,如果光源远离我们而去,每秒钟到达的光波就较少,于是光就会向可见光谱的低频端(即红端)偏移。

天文学家对恒星的光谱进行了长期的研究,因此非常熟悉正常的光谱图。这种光谱图或是在黑暗背景上的亮线图样,或是在明亮背景上的暗线图样。亮线或暗线表示原子在某些波长(或颜色)上对光线的发射或吸收。通过测量正常光谱线朝可见光谱红端或紫端的位移,天文学家能够计算出恒星移向我们或远离我们的速度,即**视向速度**。

1848 年,法国物理学家斐索指出,注意光谱线的位置能够取得观测光的多普勒效应的最佳效果。因此,人们把光的多普勒效应称为**多普勒-斐索效应**(图 2-4)。

多普勒-斐索效应已经应用在各个不同的方面。在我们的太阳系内,它可以用来以一种新的方式证实太阳的自转。在太阳自转的过程中,太阳正在转向我们的边缘所发出的光谱线会向紫端偏移(紫移)。而另一边缘则显示出红移,因为这一边缘正在远离我们而去。

诚然,太阳黑子的运动是探测太阳自转的更好而且更明显的

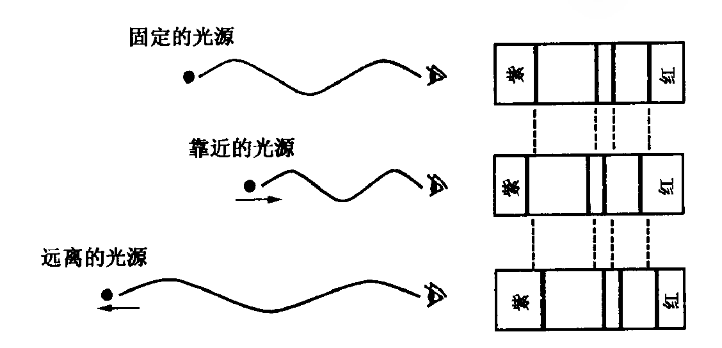


图 2-4　多普勒-斐索效应。当光源靠近时,光谱线会移向紫端(左边);而当光源远离时,光谱线则移向红端(右边)

方法(已由此得知,太阳相对于恒星的自转周期大约是 26 天)。不过,多普勒效应可以用来测定没有特征的天体的自转,如土星环。

多普勒-斐索效应可以用于任何距离的天体,只要能使那些天体产生出可供研究的光谱。因此,它最突出的成果是在恒星的研究方面。

1868 年,英国天文学家 W. 哈金斯测量了天狼星的视向速度,并宣布它正在以每秒 47 公里(29 英里)的速度远离我们而去。(现在我们已有更精确的数字,但他第一次就能做到这种地步,已经是相当精确了。)到 1890 年,美国天文学家 J. E. 基勒使用更精确的仪器,取得大量可靠的数据。例如,他指出,大角星正在以每秒 6 公里(3.75 英里)的速度接近我们。

多普勒-斐索效应甚至能够用来确定望远镜无法分辨的恒星系统是否存在。例如 1782 年,英国天文学家古德里克(他是一个聋哑人,死时才 22 岁。他虽然身体残废,却是一个第一流的天才)研究了大陵五,发现它的亮度有规律地增强和减弱。古德里克对

这种现象的解释是,假设有一颗暗伴星围绕着大陵五运行,周期性地从它前面经过,从而掩食了它,使它的光线变暗。

过了一个世纪,这个似乎可能的假说才得到另一个证据的支持。1889 年,德国天文学家沃格尔指出,大陵五的光谱线交替发生红移和紫移,并且和它的明暗变化相吻合。一开始大陵五远离我们,而暗伴星朝我们靠近;然后大陵五朝我们靠近,而暗伴星远离我们。大陵五被看成是一颗**食双星**。

1890 年,活格尔发现了一种类似而且更普遍的现象。他发现,有些恒星是既前进又后退,就是说,光谱线同时显示红移和紫移,就像双重线一样。沃格尔的结论是,这种星是一种食双星,两颗子星(都是亮星)靠得非常近,甚至用最好的望远镜看上去还是像一颗单独的星。这类双星叫做**分光双星**。

不过,我们没有必要把多普勒-斐索效应局限在我们银河系的恒星上,银河以外的天体也可以用这种方法来研究。1912 年,美国天文学家斯里弗在测量仙女座星系的视向速度时发现,这个星系正在以大约每秒 200 公里(125 英里)的速度朝我们运行。可是,当他继续观测其他星系时,发现它们中大部分都在远离我们而去。1914 年,斯里弗获得 15 个星系的数据,其中有 13 个都在以每秒数百公里的速度急速退行。

随着对这些线索的继续研究,情况变得更加明朗了。除了几个最近的星系外,所有的星系都在远离我们而去。而且,随着技术的进步,使人们能够探测到更暗而且可能是更远的星系,观察到的红移也进一步增加了。

1929 年,在威尔逊山天文台的哈勃提出,这些星系的退行速度在有规律地增加,一个星系的退行速度与其距离成正比。如果星系 A 远离我们的距离是星系 B 的 2 倍,那么星系 A 的退行速度就是星系 B 的 2 倍。这个规律有时叫做**哈勃定律**。

后来的观测确实进一步证实了哈勃定律。1929年初,在威尔逊山的哈马逊使用254厘米(100英寸)望远镜获得更加暗弱的一些星系的光谱。他所能观测到的最远的星系在以每秒40000公里(25000英里)的速度退行。508厘米(200英寸)望远镜开始启用后,可以观测到的星系更为遥远;到20世纪60年代,可以观测到的星系竟如此遥远,退行速度高达每秒24万公里(15万英里)。

为什么会这样呢?设想一个表面涂满小点的气球,当气球膨胀时,小点便各自远离。假若有个小人站在任意一点上,在他看来,其他所有的点似乎都远离他而去,而且离他越远的点远离得越快。不论他站在哪一个点上,效果都会是一样的。

星系的行为使人们觉得宇宙仿佛正在膨胀,就像膨胀着的气球一样。天文学家现在大都承认了这一膨胀的事实,而且对爱因斯坦广义相对论中"场方程"的解释,能够与膨胀宇宙相符合。

大爆炸

假若宇宙一直在不断地膨胀,那么,可以合理地设想,它在过去应该比现在小;而且在很久很久以前的某一时候,它是由一个致密的物质核开始的。

1922年,苏联数学家A.A.弗里德曼首先指出这种可能性。那时哈勃并未提出退行星系的证据,弗里德曼完全是从理论出发利用爱因斯坦方程进行研究的。可惜3年后仅37岁的A.A.弗里德曼死于伤寒,因而他的成果鲜为人知。

1927年,比利时天文学家勒梅特,在显然不知道A.A.弗里德曼成果的情况下,研究出了类似的膨胀宇宙学说。由于宇宙一直在膨胀,所以在过去某一时刻它会相当小而密度非常大,勒梅特称之为宇宙蛋。根据爱因斯坦方程,宇宙只能膨胀;而由于它的巨大密度,膨胀一定是从超级爆炸的冲击开始的。今天的星系就是宇

宙蛋的一些碎片；而它们相互退行，就是很久以前那次爆炸的回波。

勒梅特的成果也没有受到人们注意，直到更有名望的英国物理学家爱丁顿提出这一成果，才引起科学家们的普遍关注。

直到20世纪30年代和40年代，俄国血统的美国物理学家伽莫夫才真正普及了这个宇宙起源于爆炸的观念。他称这个起始的爆炸为**大爆炸**。从此这个名字就流传开了。

可是并不是每个人都同意大爆炸是膨胀宇宙的开始。1948年，两位奥地利天文学家邦迪和戈尔德提出一种理论，承认膨胀宇宙但否定大爆炸。后来英国天文学家霍伊尔发展并普及了这个理论。在星系散开的过程中，星系之间又形成新的星系；形成新星系的物质是无中生有的，而且运动的速度非常缓慢，用现在的技术无法测出。结论是，宇宙自始至今基本上保持着同一状态。在过去无数个纪元中，它看上去就是现在这个样；在未来的无数个纪元中，它看上去还是现在这个样子，因此既没有开始也没有结束。这种理论被称为**连续创生论**，由此形成一个**稳恒态宇宙**。

在十多年的时间里，大爆炸和连续创生论的争论非常激烈，但没有实际的证据来决定哪一个对。

1949年，伽莫夫指出，假若大爆炸曾经发生，伴随而生的辐射在宇宙膨胀过程中应该损失能量，而现在应该以射电辐射的形式存在，作为一个均质背景从天空的四面八方射来。这种辐射在绝对温度5K(−268℃)时应该是天体的特征。美国物理学家迪克进一步发展了这一观点。

1964年5月，德国出生的美国物理学家彭齐亚斯和美国射电天文学家R.W.威尔孙接受迪克的建议，探测到与伽莫夫预见的特征非常相似的射电波背景。它显示出宇宙的平均温度为绝对温度3度。

大多数天文学家认为,射电波背景的发现为大爆炸理论提供了结论性的证据。现在一般都接受大爆炸曾经发生的说法,而放弃了连续创生论的观点。

但是大爆炸是何时发生的呢?

由于红移容易测量,所以我们相当确切地知道星系退行的速度。但是我们还必须知道星系的距离。距离越大,作为退行速度的结果,到达它们现在位置所需的时间也就越长。但距离并不容易确定出来。

一般认为宇宙年龄应为150亿年。假若一个纪元是10亿年,那么大爆炸发生在15个纪元前,虽然也可能发生在10个纪元或20个纪元前。

大爆炸以前的情况又是怎样的呢?宇宙蛋是从哪里来的呢?

有些天文学家猜测,宇宙实际上是由缓慢凝结而成的非常稀薄的气体开始的,可能先形成恒星和星系,而后继续收缩,在一次**大紧缩**中形成一颗宇宙蛋。宇宙蛋随即在大爆炸中炸开了,重新形成恒星和星系,但现在正在膨胀中,直到某一天它将再一次变成稀薄的气体。

事实可能就是如此,如果我们展望未来,宇宙将一直膨胀下去而变得越来越稀薄,密度越来越小,越来越接近真空状态。如果我们朝过去看,追溯到大爆炸以前,并设想时间向后推移,则宇宙似乎也是一直在膨胀并趋向真空。

这种"一次收缩,一次膨胀"的宇宙叫做**敞开宇宙**。

现在没有(可能永远也不会有)一种方法,能够找到任何证据,说明大爆炸以前发生的事情。有些天文学家甚至不愿意去思考这件事,最近有些争论认为,宇宙蛋是无中生有的,因此没有"一次收缩,一次膨胀"的宇宙,而只有一个"一次膨胀"的宇宙——仍然是一个敞开宇宙。

根据这种假设,情况可能是这样,在一个空无一物的无垠大海中,在不同的时间可能发生过无数次大爆炸,因此我们的宇宙只是无限多个宇宙中的一个,每一个宇宙都有它自己的质量、自己的发展点和自己的一套自然规律亦未可知。可能只有自然定律的不寻常的组合才会形成星球、星系及生命,而我们处在一个如此不寻常的状况中,就是因为我们不能在任何其他的宇宙里生存。

不用说,现在还没有宇宙蛋无中生有的证据,也没有多个宇宙的证据,或许永远也不会有这种证据。但是,如果不让科学家在缺乏证据的情况下进行一些富有想象力的猜测,宇宙将会是一个粗糙的世界。

就此而言,我们能够肯定宇宙将永远膨胀下去吗?它是在抗拒自身引力吸引的情况下膨胀的,而引力可能足以使退行的速度减慢到零,最后造成收缩。宇宙可能先膨胀后收缩,形成大紧缩,再次消失成一无所有——或者反转回来再度膨胀,然后有一天再次收缩,形成无休止的振荡系列。无论是哪一种情况,我们都称之为**闭合宇宙**。

太阳的死亡

即使宇宙无限地膨胀下去,对各个星系或星系团也不会有任何直接的影响;即使所有的远星系退行再退行,直到最好的仪器也观测不到它们,我们的银河系仍然会保持完整,它的子星会被牢固地吸引在引力场内,本星系群中的其他星系也不会离开我们。但是我们星系的内部变化是不能绝对排除的,虽然这些变化跟宇宙膨胀无关,但可能会给我们的行星及其表面上的生命造成灾难。

天体变化的整体观念是现代才有的。古希腊哲学家,特别是亚里士多德,相信天空是完美而不变的。所有的变化、堕落与衰退

都局限在最低的星球——月球——以下的不完美区域。这似乎只是普通的常识而已，确实，一代又一代，一世纪又一世纪，天上没有什么重大的变化。诚然，偶尔会有神秘的彗星不知从哪里冒出来，行踪无常，用薄薄的面纱遮住其他星体，朦胧的尾巴犹如魔鬼飘动着的长发，完全是一副邪恶的面目，但是这类天体每个世纪用肉眼只能看见25个左右。(彗星将在下一章中详细讨论。)

亚里士多德试图使这些鬼怪现象与天是完美的观念相一致，他坚持认为，彗星属于腐化的大气和变化的地球。这个观念一直持续到16世纪末。但是，1577年(在还没有望远镜的年代)，丹麦天文学家第谷试图测量一颗明亮彗星的视差，却无法测出。因为月球的视差可以测到，所以第谷不得不下这样的结论：彗星远在月球以外，而且天上有变化与不完美。(罗马哲学家塞涅卡在公元1世纪曾怀疑有这种变化。)

事实上，人们观察到恒星的变化要比这个时间早得多，但显然没有引起多大的好奇心。例如有些变星每夜都有显著的亮度变化，甚至用肉眼就可能观察到。可是没有一位希腊天文学家提到过任何恒星的亮度变化。可能是这些文献早已遗失了，也可能希腊天文学家有意不去观察这些现象。有一个恰当而有趣的例子就是英仙座第二颗最亮的星大陵五。它先失去2/3的亮度，然后又恢复到原来的亮度，如此每69小时循环一次。(由于古德里克和沃格尔的发现，我们现在已经知道，大陵五有一颗暗伴星，每隔69小时与它交食一次，使其变暗。)希腊天文学家没有大陵五变暗的记载，而中古时代的阿拉伯天文学家也没有这种记载。但是希腊人在星图中把这颗星标在一个会把人变成石头的恶魔墨杜萨的头上；而大陵五的名字在阿拉伯语中意为“恶魔”。显然古人对这颗奇怪的星感到不安。

鲸鱼座中有一颗恒星叫鲸鱼座ο，变化无常。有时它像北极

星一般明亮;有时又消失得无影无踪。希腊人和阿位人都不曾提到过它,而在 1596 年第一次报道它的是荷兰天文学家D.法布里齐乌斯。它后来被命名为刍藁增二(即鲸鱼座 o,拉丁语为“奇妙的”意思)。天文学家从那时开始才渐渐地不害怕天象的变化了。

新星与超新星

更加明显的是天上突然出现**新星**,希腊人对此不可能完全忽略掉。据说喜帕恰斯于公元前 134 年在天蝎座中看到这样一颗新星,留下十分深刻的印象,于是绘制出第一张星图,以便将来能比较容易地找到新星的位置。

1054 年,在金牛座中人们又看到一颗特别亮的新星,它超过了金星的亮度,并且在几周的时间里白天都可以用肉眼看到。中国和日本的天文学家精确地记录了它的位置,他们的记录一直流传到现在。当时在西方天文学发展很慢,以至于没有一份欧洲人对这次明显事件的记录留存下来,大概是根本没有记录。

1572 年,当在仙后座出现了一颗和 1054 年一样亮的新星时,情况就不同了。欧洲的天文学已经从长睡中苏醒过来,年轻的第谷仔细地观察了这颗新星,并写了《**论新星**》一书。根据这个书名,新发现的恒星开始被称为**新星**。

1604 年,在巨蛇座中也出现了一颗令人注目的新星,它不像 1572 年出现的那一颗那么亮,但比火星耀眼。开普勒观测到了这颗新星,也写了一本有关这方面的书。

望远镜发明之后,新星变得不那么神秘了。当然它们根本不是什么新的恒星,只不过是比较暗的恒星忽然变得明亮可见罢了。

随着时间的推移,被发现的新星数目越来越大。它们有时在几天之内亮度就增加几千倍,然后在几个月的时间里又慢慢地暗弱下去,恢复到原来的模糊状态。每个星系(包括我们的银河系在

内)每年约有 20 个新星出现。

从对新星形成时发生的多普勒-斐索频移的研究中,以及从对新星光谱的某些其他细节的研究中,已经查明新星是正在爆发的恒星。在某些情况下,喷向空间的恒星物质被恒星的剩余部分所照亮,看上去像是一个正在膨胀的气体壳层。

总的来说,近代出现的新星并不特别亮。最亮的是天鹰座新星,它 1918 年 6 月出现在天鹰座。这颗新星最亮时几乎和天狼星一样,成为天空最亮的一颗星。但是,没有出现过像第谷和开普勒所看到的那样的新星,亮得可以和木星、金星等亮行星媲美。

自从使用望远镜以后发现的最亮的一颗新星也没有那么亮。这颗新星是德国天文学家哈维希 1885 年发现的;可是即使在它最亮时也只有七等,肉眼是根本看不见的。

这颗新星出现在仙女座星云中,它的最大亮度为仙女座星云亮度的 1/10。当时没有人知道仙女座星云距离有多远,也不了解它是一个由几千亿颗恒星构成的星系,所以这颗新星明显的亮度并没有引起人们的注意。

在柯蒂斯和哈勃计算出仙女座星系(当时的叫法)的距离之后,回想 1885 年那颗光辉灿烂的新星,天文学家们大为震惊。柯蒂斯和哈勃在仙女座星系中发现的几十颗新星都比那颗新星暗弱得多。

1934 年,瑞士天文学家兹威基开始在远星系中系统地寻找特别明亮的新星。像 1885 年仙女座星系中那颗新星一样放射光芒的新星,都会被观测到,因为这种新星像整个星系一样明亮,因此只要能看见星系,就能看见新星。到 1938 年,兹威基找到了 12 颗这种和星系一样亮的新星。他把这些亮度极不寻常的新星叫做**超新星**。结果,1885 年发现的那颗新星最后被命名为仙女座 S,S 代表超新星。

一般新星的绝对星等平均为 -8(假若在 10 秒差距的距离观测的话,它们的亮度是金星的 25 倍)。一颗超新星的绝对星等可能高达 -17。这样的超新星将是一般新星亮度的 4 000 倍,或将近太阳亮度的 1 亿倍——至少在最大亮度时是这样。

回顾 1054 年、1572 年和 1604 年所发现的新星,也是超新星。而且,它们必然发生在我们的银河系,才会有那么明亮。

细心的中国人在远古和中古时期记载的许多新星中必定也有一些是超新星。早在公元 185 年就有一次这样的报道;而 1006 年在远南天豺狼座出现的超新星,可能是历史上最亮的一颗星。它的亮度可能是金星的 200 倍或满月的 1/10。

根据遗迹来判断,天文学家们猜测,11 000 年前在远南天船帆座曾出现过一颗更明亮的超新星(亮度可能实际上与满月差不多),可惜当时还没有天文学家观察天象,也还没有发明书写的艺术。不过,可能有些史前时代的石壁画描绘了有关这颗新星的情况。

超新星在物理性质上和一般新星有很大的不同,所以天文学家们正在热心地详细研究它们的光谱。主要困难是它们很稀少。一个星系通常大约 50 年出现一颗超新星。尽管到目前为止天文学家已经找到了 50 多颗,可惜都在远星系,无法进行详细研究。仙女座 1885 超新星是近 350 年来距离我们最近的一颗,而在它出现之后 20 年天文摄影才得到长足的发展,因此没有留下这颗超新星的永久性的光谱记录①。

然而,超新星在时间上的分布是随意的。在某个星系中,仅最近 17 年间便探测到 3 颗超新星。现在的天文学家可能会被证明

① 最新的记录是:1987 年在南天大麦哲伦云中出现的超新星 1987A,肉眼都能看见。——译注

是幸运的。实际上,现在就有一颗特殊的恒星正在引起人们的注意。船底座 η 星明显地不稳定,它发生明暗变化已有相当一段时间。1840 年,它变得非常亮,成为天空中的第二颗最亮的星。许多征兆表明,这颗星好像即将要爆发成为一颗超新星。但问题是,对天文学家来说,这个“将要”可能是明天,也可能是今后 10000 年。

此外,船底座同船帆座和豺狼座一样,因过于偏南,所以即使有超新星爆发,从欧洲或从美国的大部分地区也看不到。

但是,恒星爆发而发亮是由什么引起的呢?为什么有些成为新星,而有些成为超新星呢?要回答这个问题我们必须暂离本题。

早在 1834 年,贝塞尔(即后来首先测出一颗恒星视差的那位天文学家)已经注意到,天狼星及南河三的位置每年都稍有移动,而从移动的方式来看,似乎与地球的运动无关。它们的运动不是直线进行,而是呈波浪状,因此贝塞尔断定,它们必定在各自的轨道上绕着某个东西转动。

从天狼星与南河三在轨道上运动的方式来看,它们各自围绕的“东西”必定具有不亚于一颗恒星的强大引力。特别是天狼星的伴星,它必须具有太阳一样大的质量,才能解释这颗亮星的运动。因此伴星被断定为恒星;但是因为当时用望远镜观测不到,所以被称之为**暗伴星**。它们被认为是随着时间的推移而正在变暗的老恒星。

之后,1862 年,美国仪器制造家 A. 克拉克在试验一台新的望远镜时,看到了天狼星附近的一颗暗星;进一步深入观测,结果证明这颗星果然就是那颗伴星。现在称天狼星本身为天狼 A 星,称那颗伴星为天狼 B 星,天狼 A 星和天狼 B 星都以 50 年的周期围绕着一个相互的引力中心运行。天狼 B 星的绝对星等只有 11.2,虽然质量和太阳差不多,亮度却只有太阳的 1/400。

天狼 B 星似乎是一颗正在衰亡的恒星。可是,1914 年,美国

天文学家 W.S. 亚当斯在研究了天狼 B 星的光谱之后，断定它必然和天狼 A 星本身一样热，比我们的太阳还要热，因为在它的光谱中发现了一些特殊的吸收线，而产生这些吸收线的原子振动只有在非常高的温度下才能发生。但是，既然天狼 B 星那么热，为什么还会那么暗呢？惟一可能的答案是，它比我们的太阳小得多。因为温度较高，单位表面积放射的光就比较多；可是它的总发光量小，所以它的总面积必定小。事实上，我们现在知道，这颗星的直径不会大于 11 000 公里（6 900 英里）；尽管具有与太阳相等的质量，体积却比地球小！所有的质量挤压在这么小的体积内，其平均密度会是铂的 130 000 倍。

这完全是一种崭新的物质状态。幸运的是，这时物理学家已经能够毫不困难地作出回答。他们知道，在一般的物质中，原子是由非常小的粒子组成的。由于粒子非常微小，所以原子的大部分体积是“空的”空间。在极端的压力下，亚原子粒子可以被挤成超密的物质。即使在超密的天狼 B 星中，亚原子粒子之间仍有空隙，完全能够自由移动，因此，这种密度远大于铂的物质，性质仍然像气体。英国物理学家福勒在 1925 年建议，把这种物质称为**简并气体**，而苏联物理学家朗道在 20 世纪 30 年代指出，即使像我们的太阳一类的一般恒星，其中心也应该是由简并气体组成的。

1896 年，沙伯勒在加利福尼亚洲的利克天文台首先探测到南河三的伴星南河三 B 星，发现它也是一颗超密的恒星，但质量只有天狼 B 星的 5/8。几年之后，人们发现了许多这种超密恒星。它们体积虽小，但温度很高并发出白光，因此被称为**白矮星**。白矮星大概非常多，可能占所有恒星的 3%。但因为它们体积小又暗淡，所以只有在我们附近的白矮星才有可能在不远的将来被发现。（还有一种比太阳小得多但比白矮星大的**红矮星**。红矮星是冷的，并且只有一般密度。它们是最常见的恒星，占所有恒星的 3/4。

因为它们很暗,所以和白矮星一样难以发现。有一对红矮星,距离我们只有6光年,但直到1948年才被发现。在距离太阳14光年以内的36颗恒星中,21颗是红矮星,3颗是白矮星,没有一颗是巨星,而且只有天狼星和南河三两颗比我们的太阳亮。)

在发现天狼B星具有如此惊人的性质之后第二年,爱因斯坦提出了广义相对论,主要是以新的方式解释引力。爱因斯坦的引力观点引导出这样一个预言:由具有非常强的引力场的光源所发射出的光线应当向红端位移(**爱因斯坦位移**)。亚当斯在发现白矮星后,被白矮星所强烈吸引,于是对天狼B星的光谱进行了仔细地研究。他发现确有爱因斯坦所预言的红移。这个发现不仅证实了爱因斯坦的理论,而且支持了天狼B星具有超级密度的说法;因为在一个普通恒星如我们的太阳中,红移效应只有天狼B星的1/30。尽管如此,20世纪60年代初期,由我们的太阳产生的这种非常小的爱因斯坦位移还是探测到了,使广义相对论得到了进一步证实。

但是白矮星和上面讨论的超新星有什么关系呢?为了回答这个问题,让我们回顾一下1054超新星。

1844年,罗斯勋爵在金牛座中东方天文学家曾报道发现1054超新星的地方,观测到一个小的云状天体。因为它很不规则,形状像螃蟹,罗斯勋爵就把它命名为蟹状星云。以后几十年的连续观测表明,这团气体正在缓慢地膨胀。根据多普勒-斐索效应可以计算出膨胀的实际速率,把它同膨胀的视速率结合起来,就能够计算出蟹状星云距离我们3500光年。从膨胀的速率还可以确定,这团气体从中心爆发点开始膨胀的时间是在将近900年前,这同1054年的日期正好相符。因此,对蟹状星云(现在它扩展的空间范围直径约为5光年)是1054超新星的遗迹,已不会有什么怀疑了。

虽然在第谷和开普勒报道的两颗超新星位置的附近都观测到了星云状物质的小斑，却没有发现类似的湍动气体区域。不过，这里却有大约150个行星状星云，这些星云中的轮胎状气体环可能表示曾经发生过巨大的恒星爆发。天鹅座的网状星云是一个特别宽广而稀薄的气体云，它可能是3万年前一颗超新星爆发留下的遗迹。这颗超新星一定比1054超新星距离我们更近，因而更加明亮，可惜当时地球上还没有文化，未能记录下这一壮丽情景。

甚至还有人提出，围绕着猎户座的一块非常暗弱的星云状物质，可能是一颗更古老的超新星留下的遗迹。

然而，在所有这些事例中，恒星爆发以后情况又怎样呢？它们就这样变成一团巨大的气体而消失了吗？例如，蟹状星云是1054超新星爆发后遗留下来的**全部**吗？难道它就这样一直扩散下去，直到这颗恒星所有可见的迹象永远消失为止吗？或者留下的某些残骸仍是一颗恒星，只是太小太暗而无法探测到，也就是说，留下的是一颗白矮星吗？打个比方来说，白矮星是曾经像我们的太阳一样的恒星的残骸吗？这些疑问把我们引向恒星演化的问题。

恒星的演化

在我们附近的恒星中，按照非常有规律的亮度与温度的比例来判断，明亮的似乎比较热，而暗淡的似乎比较冷。如果把各种恒星的表面温度相对于它们的绝对星等绘制成图的话，大部分我们所熟悉的恒星将会归入一条从暗冷缓慢地上升到亮热的窄带中。这条带叫做**主星序**。它是由美国天文学家H. N. 罗素于1913年首先绘出的，而后第一位确定造父变星绝对星等的天文学家赫茨普龙也做了同样的工作。因此，表示主星序的图叫做**赫茨普龙-罗素图**，简称为**赫-罗图**（图2-5）。并非所有恒星都属于主星序。有些红巨星虽然表面温度相当低，却有很高的绝对星等。这是因为

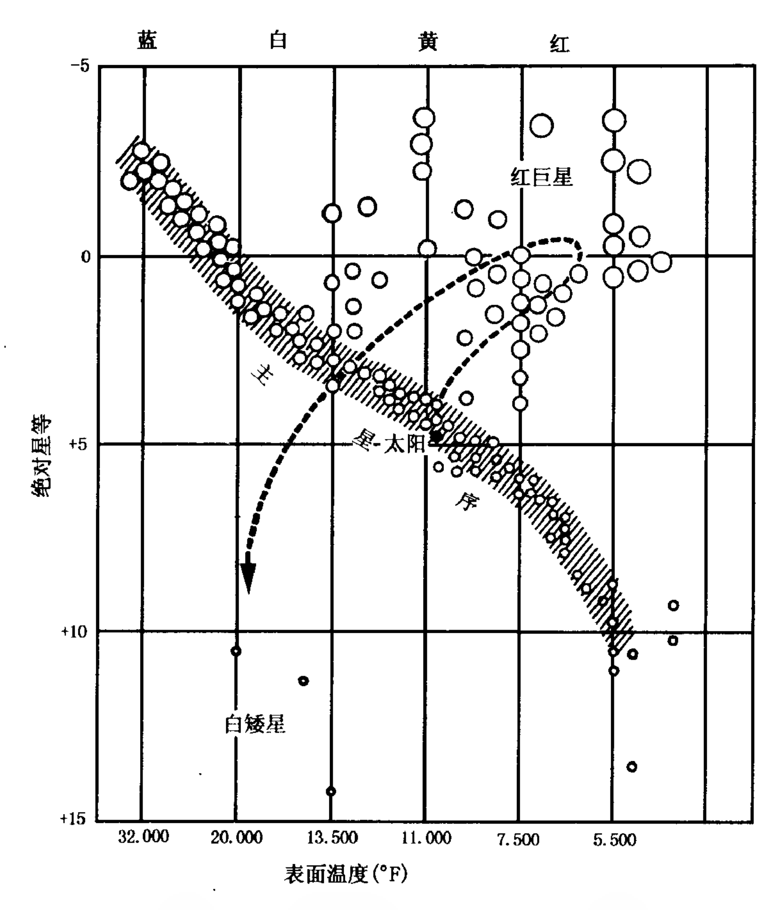


图 2-5　赫 罗图。虚线表示一颗恒星的演化过程。图中恒星的大小仅是示意,并未按真实比例

它们的物质以稀薄的方式扩散成很大的体积,单位面积的热度虽然不高,但巨大的表面总合起来却相当热。在这些红巨星当中,最有名的是参宿四和心宿二。1964 年科学家们发现,有些红巨星甚

至冷到大气层里含有大量的水蒸气;在我们太阳的比较高的温度下,这些水蒸气会被分解成氢和氧。至于高温的白矮星也不属于主星序。

1924年,爱丁顿指出,任何恒星内部一定非常热。因为恒星的巨大质量,其引力非常强大。如果这颗恒星要不坍缩,就必须有一个相等的内部压力与这种巨大的引力相平衡,这个内部压力就是由热能和辐射能产生的。恒星的质量越大,平衡引力所需要的中心温度也就越高。为了维持这种高温和辐射压力,质量越大的恒星必须越快地燃烧,从而放出更多的能量,因此一定比质量较小的恒星更亮:这就是**质光定律**。这个定律指出,光度与质量的6次方或7次方成正比。假若质量增加3倍,则光度增加3的6次方或7次方,即大约750倍。

由此可以得出这样的结论,大恒星大量耗费它们的氢燃料,因而寿命比较短。太阳拥有足够的氢,按目前的辐射率能维持其寿命几十亿年;像五车二那样亮的星在2000万年内就会燃烧完;有些最亮的星,如参宿七,可能维持不了一二百万年。因此,非常亮的星一定非常年轻。新的恒星说不定现在正在有足够的尘埃提供原材料的空间形成。

1955年,美国天文学家赫比格在猎户座星云尘埃中确实探测到两颗恒星,而在几年前拍摄的照片中,还看不到这两颗恒星的踪迹。这两颗恒星也许真的是在我们有生之年诞生的。

到1965年,已经找到了几百颗因为太冷而不大发光的恒星。因为它们是由大量稀薄物质组成的,后来通过它们的红外线辐射才探测到它们,所以把它们叫做**红外巨星**。据推测,这些红外巨星是正在聚集而逐渐变热的尘埃和气体。最后,它们将变得非常热而发光。

在研究恒星演化方面取得的另一个进展来自对球状星团中恒

星的分析。一个星团中的恒星距离我们都差不多同样远,所以它们的视星等和它们的绝对星等成正比(如麦哲伦云中造父变星的情况那样)。因此,只要知道它们的星等,就可以绘制出这些恒星的赫-罗图。结果发现,较冷的恒星(燃烧氢的速度缓慢)在主星序中,而较热的恒星似乎有离开主星序的倾向。它们依照燃烧速率的高低及老化的快慢,遵循着一条确定的曲线,显示出演化的各个阶段:首先走向红巨星,然后折返回来,再次穿越主星序,最后向下走向白矮星。

根据这一发现,再加上某些理论方面的考虑(关于亚原子粒子在一定的高温和高压下能够互相结合的方式),霍伊耳绘制出了一幅恒星演化过程的详细图画。根据霍伊耳的观点,演化的早期,一颗恒星的大小或温度变化很小。(我们的太阳现在正处在这种状态,并将维持很长的时间。)因为恒星在其炽热的内部将氢转变为氦,所以在恒星的中心氦积累得越来越多。当这个氦核达到一定的大小时,恒星的大小和温度开始发生剧烈地变化,体积急剧膨胀,表面温度降低。也就是说,离开主星序朝红巨星的方向运动。恒星质量越大,到达这个转折点就越快。在球状星团中,质量较大的恒星已经沿着这一途径走过了不同的演化阶段。

膨胀后的巨星虽然温度较低,但因表面积比较庞大,所以释放出比较多的热量。在遥远的未来,当太阳离开主星序时,或在那之前,它可能会热得使地球上的生命无法忍受。不过,这将是几十亿年以后的事了。

可是,氦核到底是如何膨胀成为红巨星的呢?霍伊耳认为,氦核本身收缩,结果温度升高,使氦原子核聚合成碳,从而释放出更多的能量。这种反应的确是可以发生的。这是一种非常罕见而几乎不可能发生的反应。但是红巨星中氦原子的数量十分庞大,所发生的这类聚合反应足以提供其所必需的能量。

霍伊耳进一步指出，新的碳核继续变热，从而开始形成像氧和氖一类的更复杂的原子。在发生这一过程时，恒星正在收缩并再次变热，朝主星序返回。此时恒星开始变为多层，就像洋葱头一样。它有一个由氧和氖构成的核，核外面是一层碳，再外面是一层氦，而整个恒星由一层尚未转变的氢包围着。

然而，与消耗氢的漫长岁月比较起来，恒星消耗其他燃料的时间就如同速滑雪橇一样飞驰而过。它的寿命维持不了多久，因为氦聚变等所释放的能量只有氢聚变的1/20而已。在一个比较短的时间内，保持恒星膨胀状态所需要的抗拒自身引力场强大引力的能量变得不足，从而使恒星更加快速地收缩。它不仅收缩到正常恒星的大小，而且进一步收缩到白矮星的大小。

在收缩当中，恒星的最外层会被留在原处，或被收缩而产生的热喷开。于是白矮星被包围在膨胀的气体层当中。当我们用望远镜观测时，边缘的地方看上去最厚，因此气体最多。这种白矮星好像是被"烟圈"环绕着。因为它们周围的烟圈好像是看得见的行星轨道，所以把它们叫做**行星状星云**。最后，烟圈不断膨胀而变得很薄，再也看不到了，我们看到的像天狼B星一类的白矮星周围就没有任何星云状物质的迹象。

白矮星就是这样比较平静地形成的；而这种比较平静的"死亡"正是像我们的太阳一类的恒星和比较小的恒星未来的命运。而且，如果没有意外干扰的话，白矮星会无限地延长寿命，在此期间，它们会慢慢冷却，直到最后再也没有足够的热度发光为止（未来几十亿年），然后变为**黑矮星**，还要继续无数亿年。

另一方面，如果白矮星像天狼B星或南河三B星那样是双星系统中的一颗，而另一颗是主星序的星，而且非常接近白矮星，那么将会有一些令人兴奋的时刻。主星序星在自己的演化过程中膨胀时，它的一些物质在白矮星强大引力场的吸引下，可能会向外漂

移而进入白矮星的轨道。在偶尔的情况下,有些轨道物质会旋落在白矮星的表面,在那里受到引力压缩而引起聚变,从而放射出爆发性的能量。如果有一块特别大的物质落到白矮星的表面,则放射出的能量可能大到从地球上都可以看到,于是天文学家便记录下有一颗新星出现。当然,这种事会一再发生,而**再发新星**确实是存在的。

但这些还不是超新星。超新星是从哪里来的呢?为了回答这个问题,我们必须从比我们的太阳大得多的恒星谈起。这些巨大的恒星相当稀少(在各类天体中,大质量恒星的数目比小恒星少),30 颗恒星中大概只有 1 颗比太阳质量大。即使如此我们的银河系里大约也有 70 亿颗大质量恒星。

大质量恒星引力场的引力比小恒星的大,在这种较强引力的作用下,其核也挤压得比较紧,因此核更热,聚变反应超越较小恒星的氧-氖阶段后仍能继续进行。氖进一步结合形成镁,镁又能结合形成硅,然后硅再结合形成铁。在其寿命的最后阶段,这种恒星可能会由 6 个以上的同心壳层组成,各自消耗不同的燃料。这时中心温度可达摄氏 30 亿~40 亿度。恒星一旦开始形成铁,它就到达了死亡的终点,因为铁原子的稳定性最高而所含的能量最少。无论是把铁原子转变成更复杂的原子还是转变成更简单的原子,都必须输入能量。

而且,当核心温度随年龄增加时,辐射压力也随着增加,并且与温度的 4 次方成正比,即当温度升高到 2 倍时,辐射压力会增加到 16 倍,因此辐射压力和引力之间的平衡变得更加脆弱。根据霍伊耳的说法,最后,中心温度上升得非常高,从而使铁原子转变成氦。但是要发生这种情况,正如我刚刚说过的,必须给铁原子输入能量。当恒星收缩时,可以利用它所得到的能量把铁转变成氦。然而,所需的能量是如此巨大,根据霍伊耳的假定,恒星必须在一

秒钟左右剧烈地收缩成其原来体积的极小的一部分。

当这种恒星开始崩溃时,它的铁核仍被大量尚未达到最大稳定性的原子包围着。随着外层的崩溃,原子的温度升高,这些仍然可以结合的物质一下子全部"点火",结果引起一场大爆发,将恒星外层物质从恒星体内喷出去。这种爆发就是超新星。蟹状星云就是由这种爆发形成的。

超新星爆发的结果,将物质喷发到空间,这对于宇宙的演化具有巨大的重要性。在宇宙大爆炸时,只形成了氢与氦。在恒星的核内则陆续形成其他更复杂的原子,一直到铁原子。如果没有超新星爆发,这些复杂原子会锁在恒星的核内,一直到白矮星。通常只有极少量的复杂原子通过行星状星云的晕进入宇宙中。

在超新星爆发的过程中,恒星较内层的物质会被有力地喷射到外围空间,爆发的巨大能量甚至能够形成比铁原子更复杂的原子。

喷射到空间的物质会加入已经存在的尘埃气体云,并且成为形成富含铁及其他金属元素的**第二代新恒星**的原材料。我们的太阳可能是一颗第二代恒星,比一些无尘埃球状星团的老恒星年轻得多。那些**第一代恒星**则金属含量很低而氢含量很高。地球是从诞生太阳的同一残骸中形成的,所以含铁非常丰富,这些铁也许一度存在于几十亿年前爆发的一颗恒星的中心。

可是在超新星爆发中已经爆发的恒星,其收缩部分的情况又是如何呢?它们形成白矮星吗?体积和质量更大的恒星只是形成体积和质量更大的白矮星吗?

1939年,在美国威斯康星州威廉斯湾附近的叶凯士天文台工作的印度天文学家张德拉塞卡计算出,大于太阳质量1.4倍以上的恒星,不可能通过霍伊耳所描述的正常过程变成白矮星,从而第一次指出,我们不能期望有越来越大的白矮星。这个数值现在叫

做**张德拉塞卡极限**。事实上,结果证明到目前为止所有观测到的白矮星质量都低于张德拉塞卡极限。张德拉塞卡极限存在的理由是,由于白矮星的原子中所含的电子相互排斥,因而使白矮星不能再继续收缩下去(亚原子粒子我将在后面第七章中讨论)。随着质量的增加,引力强度也增加;达到 1.4 倍太阳质量时,电子排斥力变得不足以克服白矮星的收缩力,白矮星将坍缩成更小更致密的星体,而使亚原子粒子实际上相互接触。这种星体必须等待利用可见光以外的辐射来探测宇宙的新方法发明之后,才能探测出来。

观察宇宙的窗口

人类获取知识的最有力的武器,是他们的理解能力和推动这种理解能力不断发展的强烈的好奇心。有才智的人不断地发明出新的仪器,打开了我们的肉体感官所无法达到的境界。

望远镜

最著名的例子就是,1609 年望远镜发明以后,新的知识大量涌现。从实质上来说,望远镜只是一只特别大的眼睛。设在美国加利福尼亚州帕洛马山上的望远镜,口径有 5.08 米(200 英寸),聚光面积为 20 多平方米(31 000 平方英寸),与人眼的 6 毫米左右(1/4 英寸)的瞳孔形成了鲜明的对照。这架望远镜的聚光能力可以把我们肉眼所能看到的星光亮度增强大约 100 万倍。它于 1948 年首次启用,是当今美国使用的最大的一架;但在 1976 年,苏联开始使用安置在高加索山上的一架口径为 6 米(236.2 英寸)的望远镜进行观测。

苏联的这架望远镜可说是这种望远镜的极限了,但实际上工作并不理想。然而除了单纯地增加望远镜的口径外,还有其他改

进的方法。在20世纪50年代,图雷发明了一种电子显像管,可以把望远镜收集到的弱光加以放大。将几个较小的望远镜统一使用,跟单独使用一个比其中任何成员都大的望远镜,所得到的影像是一样的。因此,美国和前苏联都在计划建造远远超过5米与6米口径的望远镜集合体。此外,如果将一架大望远镜安放在环绕地球的轨道上,便能够在没有大气干扰的情况下观测天空,因此它会比安放在地球上的任何望远镜都看得清晰。这个计划也在进行中。①

望远镜对于人类的贡献不仅仅是放大与增强光线而已。1666年,牛顿发现光可分解成各种彩色的光谱后,使望远镜朝着不单是一个光线收集器的方向迈出了第一步。牛顿让太阳光束经过一个棱镜后,发现太阳光束展宽成一条由红、橙、黄、绿、蓝、紫等色组成的带,而且每一种颜色都逐渐过渡到下一种颜色(图2-6)。(当然,人们对这种现象是很熟悉的,因为它经常以彩虹的形式出现。彩虹是太阳透过水滴时水滴产生棱镜效应而形成的。)

牛顿所证明的是太阳光,或者说**白光**,是多种特定的辐射(现在被认为是不同波长的波)的混合物。这些辐射在我们的眼睛看来就是众多不同的颜色。棱镜之所以能够把颜色分开,是因为当光由空气进入玻璃或由玻璃进入空气时,会产生弯曲,也就是**折射**;各种波长折射的程度不同,波长越短折射就越大。因此,波长短的紫光折射最大,而波长长的红光折射最小。

此外,这个现象还解释了早期望远镜的一个重大缺陷,即被观测物体的四周有模糊的色环。这是光线经过透镜时由色散形成的

---

① 1990年4月25日,美国**发现号**航天飞机成功地将**哈勃太空望远镜**送入距地球600多公里(380英里)的轨道上。这架望远镜长13.1米,宽4.27米,重量11吨,使用寿命为15年。——译注

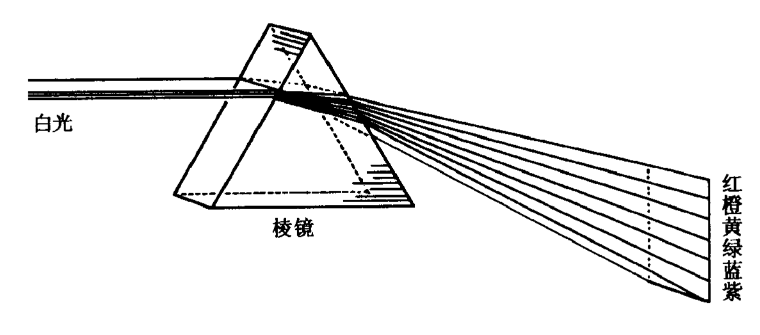


图 2-6 牛顿分解白光光谱的实验

光谱。

只要使用透镜,就排除不了这种缺陷,牛顿对此深感失望。因此,它设计并制造了**反射望远镜**,用抛物面镜代替透镜来放大影像。由于所有不同波长的光都会产生相同的反射,因此在反射时不会形成光谱,也就没有色环(**色差**)出现了。

到了 1757 年,英国光学家多朗德利用两种不同的玻璃组合成透镜,一种玻璃可以抵消另一种玻璃形成光谱的倾向。这样就可以制成**消色差**(无色)透镜了。使用了这种透镜后,**折射望远镜**再度受到欢迎。1897 年叶凯士天文台建造了一架透镜直径为 1.02 米(40 英寸)的最大折射望远镜。此后没有再造出更大的折射望远镜来,将来也不可能造出来,因为更大的透镜吸收的光线太多,会将其优良的放大率抵消。因此,今天的巨型望远镜都属于反射望远镜,因为反射镜面很少吸收光线。

分光镜

1814,德国的光学家夫琅和费比牛顿更进了一步。他让光束通过一个狭缝,然后再用棱镜折射。这样得到的光谱实际上就是由各种波长组成的光的一系列狭缝的像。狭缝的像非常多,它们

汇集在一起就成了光谱。夫琅和费的棱镜非常好，产生的狭缝像清晰得能够看出有些狭缝像没有出现。如果在太阳光中缺少某些特定的波长，则在那一波长便没有狭缝像形成，因而在太阳的光谱中就会出现一条暗线。

夫琅和费将他发现的暗线位置全部标出来，共有700多条。从此这些暗线被称做**夫琅和费谱线**。1842年，法国物理学家A.E.贝克勒耳首次拍摄到太阳的光谱线。这种照相术极大地促进了对光谱的研究，而且随着现代精密仪器的使用，在太阳的光谱中已经发现了3万多条暗线，并测定了它们的波长。

19世纪50年代，一些科学家曾经设想，这些线代表了太阳上的各种元素。暗线表示在有关波长时光线被某种元素所吸收；明线则表示元素的特征辐射。大约在1859年，德国的化学家本生与克希霍夫研究出了用这种方式来识别各种元素的一套方法。他们把各种物质加热，使之发出白炽光，再将它们发出的光展宽成光谱，根据背景上的标度测定出谱线的位置（在这种情况下，是在黑暗背景上出现的明亮的发射线），然后把每一条谱线都同某种元素匹配起来。他们的**分光镜**很快就被用来发现新的元素，方法是辨认与已知元素不一致的新谱线。在不到两年的时间里，本生与克希霍夫便利用这种方法发现了铯和铷。

此外，分光镜还被用来研究太阳光和星光，很快在化学及其他方面就获得大量的新资料。1862年，瑞典天文学家埃斯特朗在太阳的光谱中发现了氢元素的谱线特征，从而证实太阳含有氢。

虽然在恒星上也能探测到氢，但是，总的说来，由于恒星的化学成分不同（其他性质也是如此），它们的光谱也各不相同。事实上，恒星可以按照它们的谱线图的一般性质来分类。1867年，意大利天文学家塞奇，在4000颗恒星光谱的基础上，第一次将恒星分类。到19世纪90年代，美国的天文学家E.C.皮克林对几万张

恒星光谱进行了研究,在A.J.坎农和A.C.莫里的大力支持下,使光谱分类更加细致。

最初,光谱分类是用大写字母按照英文字母的顺序排列的,但是后来知道的恒星越来越多,因而有必要改变这种次序,对光谱型进行逻辑排列。如果字母以恒星温度递减的次序来排列,则为O,B,A,F,G,K,M,R,N和S十类;而每一类又可以再细分为1~10十个次型。例如,太阳是一个中等温度的恒星,光谱型为G-0,半人马座α星是G-2型,温度比较高的南河三是F-5型,而温度相当高的天狼星则是A-0型。

正如分光镜在地球上能够找到新元素一样,分光镜在天空中也能找到新元素。1868年,法国天文学家让桑在印度观测日全食时,发现了一条和过去任何已知元素的光谱都不符合的光谱线。后来英国天文学家洛基尔证实,那条光谱代表的是一种新元素,并将这种新元素命名为氦(源自希腊文"太阳")。大约30年以后,人们才在地球上发现了氦元素。

正如我们在本章前面看到的那样,分光镜后来成为测量恒星视向速度的工具,并用来探测恒星的磁场特性、恒星的温度、恒星是单个星还是双星等等。

此外,谱线是有关原子结构知识的一部名副其实的百科全书,不过,直到19世纪90年代首次发现原子中的亚原子粒子后,谱线才得到充分地利用。例如,1885年,德国物理学家巴耳末证明,氢原子所产生的整组谱线按照一个相当简单的公式有规则地间隔着。30年以后,用这个理论推导出了氢原子的一个重要结构图。

洛基尔本人证明,一种给定的元素所产生的谱线在高温下会发生变化。这表明原子内部有某种改变。同样,直到后来发现原子中含有更小的粒子后,洛基尔的理论才受到重视。在高温下有些粒子被驱逐出来,因而使原子的结构和原子产生的谱线的性质

发生改变(这种改变了的谱线有时会被误认为是新元素的象征)。但是,很遗憾,氦至今仍然是天上发现的惟一新元素。

照相术

1830 年,法国艺术家达盖尔制造了第一块**达盖尔银版**,从而引入了照相术。照相术同样很快就成为天文学上非常宝贵的工具。在 19 世纪 40 年代,许多美国天文学家纷纷拍摄月球的照片,其中 G. P. 邦德拍摄的一张月球的照片,1851 年在伦敦举办的博览会上引起轰动。他们还对太阳进行了拍摄。1860 年,塞奇首次拍摄了日全食的照片。到 1870 年,日全食的照片已经证明,日冕与日珥是太阳的一部分,而不是月球的一部分。

在此期间,在 19 世纪 50 年代开始时,天文学家对远恒星也进行了拍摄。到 1887 年,苏格兰天文学家吉尔每天都对恒星拍照。从此,在观测宇宙方面,照相术很快就变得比用我们的肉眼更为重要。

利用望远镜照相的技术不断得到改进。但是,一个主要的障碍是,大望远镜所能看到的视场非常小。如果试图扩大视场的话,边缘上就会发生畸变。1930 年,俄国血统的德国光学家 B. 施密特设计了一种使用改正透镜的方法,可以避免发生畸变。人们使用这种透镜一次可以拍摄到非常宽阔的一片天空,从中找出感兴趣的天体,然后再用普通望远镜进行仔细研究。因为这种望远镜几乎总是被用在天体照相工作上,所以被称为**施密特照相机**。

目前使用的最大的施密特照相机,口径为 135 厘米(53 英寸),1960 年在民主德国的图腾堡首次投入使用。另一架口径 122 厘米(48 英寸)的施密特照相机与帕洛马山上的 5.08 米(200 英寸)口径的海耳望远镜配合使用。第三架最大的施密特照相机口径为 0.99 米(39 英寸),1961 年在苏联亚美尼亚天文台投入使用。

1800年前后,W.赫歇耳(第一次猜测我们银河系的形状的那位天文学家)做了一个非常简单而有趣的实验。他首先让一束太阳光通过棱镜,然后将一支温度计放在光谱红端的旁边。温度计中的水银竟上升了!很明显,在波长比可见光谱还要长的地方还有某种不可见的辐射存在。W.赫歇耳所发现的这种辐射就是有名的红外辐射,即在红端以外的辐射。此外,现在我们知道,太阳的辐射中足有60%属于红外辐射。

1801年,德国物理学家里特对光谱的另一端进行了探索。他发现,硝酸银曝光于蓝光或紫光时,会分解出金属银而变黑,如果把硝酸银放在光谱紫端以外的地方,会分解得更快。这样,里特发现了现在被称做**紫外辐射**的"光"(在"紫端"以外)。W.赫歇耳和里特展宽了久已存在的光谱,使之进入了辐射的新领域。

这些新的领域可以给人们提供大量的资料。太阳光谱中我们肉眼看不到的紫外辐射部分,在照片上却显示得非常详细。事实上,使用石英棱镜可以记录下非常复杂的紫外光谱(石英能够透过紫外辐射,而普通玻璃会把大部分紫外辐射吸收掉)。这是1852年由英国物理学家斯托克斯首先证实的。遗憾的是,大气层只让**近紫外辐射**(即同紫光波长差不多的辐射)通过。**远紫外辐射**由于波长特别短,在高层大气中被吸收掉了。

射电天文学

1860年,苏格兰物理学家麦克斯韦提出一个理论,预言整个辐射家族都与电磁现象(即**电磁辐射**)有联系,而一般可见光只是这个家族中的一小部分而已。25年以后,即在麦克斯韦因患癌症过早去世7年后,才找到了证实他的预言的第一个确实的证据。1887年,德国物理学家H.R.赫兹从感应线圈的火花中制造振荡电流,结果产生出波长极长的辐射,比一般红外辐射的波长长得

多。H.R.赫兹探测到了这些辐射。这些辐射后来称做**无线电波**或**射电波**。

波长可以用**微米**(1/1 000 000 米)来量度,可见光的波长从0.39微米(极紫)到0.78微米(极红)。接下去是**近红外辐射**(0.78～3微米),再就是**中红外辐射**(3～30微米),然后是**远红外辐射**(30～1000微米)。从此开始便是射电波:所谓的**微波**从1000～160 000微米,长波射电波长高达几十亿微米。

辐射的特性不仅可以用波长来表示,也可以用**频率**来表示。频率就是每秒钟产生的辐射的波数。可见光和红外辐射频率的数值太大,因此在这两种情况下通常不使用频率来表示。但是,对射电波来说,频率降低到比较低的数字,因而得到广泛地应用。每秒钟1000个波叫做1**千周**;每秒钟1 000 000个波叫做1**兆周**。微波的范围从300 000兆周到1000兆周。一般电台使用的射电波波长都很长,都低到千周的范围。

在赫兹发现射电波后的10年期间,光谱的另一端也有了同样的扩展。1895年,德国物理学家伦琴意外地发现了一种神秘的辐射,他称之为**X射线**。结果证明,X射线的波长比紫外辐射的波长短。后来卢瑟辐证明,与放射性有关的γ射线的波长比X射线的还要短。

目前光谱中的短波部分大致划分如下:波长从0.39～0.17微米属于近紫外辐射,从0.17～0.01微米属于远紫外辐射,从0.01～0.000 01微米属于X射线,γ射线的范围则是从这个数值一直到小于十亿分之一微米。

于是,牛顿最初的光谱得到极大的扩展。如果我们把波长每增加一倍看作是相当于1个8度音程的话(如同声音那样),那么我们所研究的全部电磁波谱大约等于60个8度音程。可见光在靠近光谱的中心部分,仅占1个8度音程的范围。

有了比较宽的光谱,我们对恒星的认识当然会更加全面。例如,我们知道,太阳光中包含着大量紫外辐射和红外辐射。这些辐射大部分被我们的大气吸收了;但是1931年非常意外地发现了一个探索宇宙的射电窗口。贝尔电话实验室的一位年轻的无线电工程师央斯基,在研究经常伴随着无线电接收而产生的静电时,偶然发现了一种非常稳定的噪声,这种噪声不可能来自任何通常的噪声源。他最后断定,这种静电是由来自外层空间的射电波引起的。

最初,来自空间的射电信号似乎在太阳方向上最强,但一天天过去后,接收到的最强信号慢慢地从太阳方向移开,并且在天空中环行一圈。到1933年,央斯基断定,这些射电波来自银河,特别是来自靠近银河系中心的人马座方向。

于是**射电天文学**诞生了。但因为它还有严重的缺点,所以并没有立即受到天文学家的欢迎。射电天文学得到的并不是整齐的图形,而只是在图上画出一些扭动的曲线,很不容易解释其中的含义。更重要的是,射电波的波太长,以至于无法分辨出像恒星那样小的射电源。来自空间的射电信号,波长大约是光波波长的几十万倍甚至几百万倍;因此,任何普通的无线电接收机最多只能测出这些射电波发射的大致方向。**射电望远镜**必须有一个比光学望远镜的镜面大100万倍的抛物面天线,才能产生像光学望远镜那样清晰的天空图像。一架5.08米(200英寸)口径的望远镜需要匹配的抛物面天线的直径为5040公里,大约是美国面积的两倍,这显然是不可能办到的。

这些困难影响了人们对这项新发现的重要性的认识。但是一位名叫雷伯的年轻的无线电业余爱好者,出于个人的好奇心,继续对射电波进行研究。1937年,雷伯花费了许多时间和金钱,在后院中建造了一架小型射电望远镜,并配有一具直径约为9米(30英尺)的抛物面天线,接收和集中射电波。1938年初,除了人马座

外，他又发现了一些射电源，例如，天鹅座中有一个，仙后座中也有一个。（最初，不管这种源是不是恒星，均称射电星，但现在一般都叫做**射电源**。）

在第二次世界大战期间，英国的科学家在研制雷达的过程中发现，太阳发射的微波范围内的信号对雷达有干扰。这一发现激起了他们对射电天文学的兴趣。第二次世界大战结束后，英国继续对太阳射电频率的研究工作。1950 年，他们发现，太阳的射电信号大多与太阳黑子有关。（央斯基是在太阳黑子活动极小期进行实验的，所以他探测到银河系的辐射，却没有探测到太阳的辐射。）

此外，由于雷达技术和射电天文学使用的波长相同，所以到第二次世界大战结束时，天文学家便有了适合于处理微波的大型阵列设备。这些设备很快就得到改进，人们对射电天文学的兴趣也大为提高。

为了更清晰地接收和给射电源准确定位，英国首先建造了大型天线。在英国的焦德雷尔班克，洛维耳监造了直径约为 76 米(250 英尺)的抛物面天线，从而有了第一架真正的大型射电望远镜。

后来终于发现了清晰接收的方法。要获得高分辨力，并不需要建造一架大得无法制作的射电望远镜，而只要在一个地方建造一架大射电望远镜，在远距离的地方再建造一架就行了。如果用超精确的原子钟校正两个抛物面天线的时间，并通过精密电脑的处理使它们一致运行的话，则两个抛物面天线所产生的效果与一个直径等于两者直径之和(即两者分离的距离)的大型抛物面天线相同。抛物面天线的这种组合叫做**长基线射电望远镜**或**甚长基线射电望远镜**。澳大利亚天文学家在他们那宽广而比较空旷的土地上安装了这种射电望远镜。现在，美国加利福尼亚州与澳大利亚

合作建立的抛物面天线,产生的基线大约是10600公里(6000英里)。

因此,射电望远镜产生的图像同敏锐的光学望远镜一样清晰。实际上,射电望远镜比光学望远镜分辨得**更仔细**。诚然,这种甚长基线射电望远镜在地面上可以无限地延长,但是天文学家正在梦想,使射电望远镜在空间相互配合,并同地球上的抛物面天线配合,以形成更长的基线。

然而,早在射电望远镜发展到目前的水平之前,就有了许多重大发现。1947年,澳大利亚天文学家博尔顿测定了天空中第三个最强的射电源的方位,证实就是蟹状星云。在天空各处被探测到的射电源中,这是第一个被确定的实际可见的天体。这样强的辐射似乎不可能是由一颗恒星产生的,因为其他恒星并不产生这种辐射。这个射电源似乎比较可能是蟹状星云中膨胀着的气体云。

这项发现更加证明,宇宙射电信号主要是由湍动气体产生的。太阳外层大气中的湍动气体发出射电波,所以所谓的**射电太阳**比可见太阳要大得多。后来发现,具有湍动大气的木星、土星和金星也是射电源。

射电天文学的开创者央斯基,在世时基本上没有得到人们的赏识,而在1950年,正当射电天文学开始大踏步前进的时候,他去世了,享年44岁。后来人们为了纪念他,便用**央斯基**作为测量射电发射的强度单位。

眺望我们银河系之外

射电天文学的触角远及空间深处。在我们银河系中,有一个强射电源是太阳系以外最强的一个射电源,叫做仙后,因为它位于仙后座内。巴德和闵可夫斯基用帕洛马山上的5.08米口径的望远镜,进一步观测了这个英国射电望远镜已经准确定位的射电源,

发现是一缕缕湍动气体。这些气体很可能是1572年第谷在仙后座看到的那颗超新星的遗迹。

1951年发现了一个更远的射电源。它是第二个最强的射电源,位于天鹅座内。雷伯1944年首先报告了这个射电源。但直到后来利用射电望远镜找出它的位置,才开始发现这个射电源位于我们的银河系之外,这是在银河系以外精确定位的第一个射电源。1951年,巴德在用5米口径的望远镜观测指出的那部分天区时,在视场中心发现了一个奇特星系。它有两个中心,而且好像是被扭曲了似的。巴德当即怀疑,这个奇特的、被扭曲的、双中心的星系不是一个星系,而是两个星系,就像一付合击在一起的铙钹。巴德认为,它们是两个正在碰撞的星系,他同其他天文学家讨论了这种可能性。这个证据似乎支持他的观点,所以在一段时间内,人们接受了两个星系相撞的说法。大多数星系存在于相当密集的星系团中,像成群的蜜蜂那样运动,这种碰撞似乎是很难避免的。

天鹅座里的射电源虽然调整到2.6亿光年以外,但是它所发出的射电信号却比我们的恒星近邻蟹状星云强。这第一次表明,射电望远镜比光学望远镜能够洞察更远的星空。即使口径为76米(250英尺)的焦德雷尔班克射电望远镜(按照目前标准是很小的射电望远镜),也远胜过5米(200英寸)口径的光学望远镜。

然而,当在远星系中发现的射电源数目不断增加并超过100个时,天文学家们又不安起来。无疑,它们根本不可能都是由碰撞的星系形成的。

事实上,天空中星系相撞的整个观念已经动摇了。苏联天体物理学家阿姆巴楚米扬1955年提出了理论上的理由,认为射电星系是正在爆发的星系,而不是正在相撞的星系。

1963年发现大熊座里的M－82星系(大约1000万光年远的一个强射电源)就是这样一个**爆发星系**。这个发现极大地增强了

上述推测的可能性。

用5米(200英寸)口径的海耳望远镜并利用一种特定波长的光对M-82星系进行观测,发现从星系的中心喷射出长达1000光年的巨大物质喷流。从向外爆发的物质数量、爆发物质已经运行的距离及其运行的速率来看,发生爆发的时间大概是在150万年前。

现在看来,星系的核普遍活动着,那里经常发生湍动和非常剧烈的事件,因此,总的来说,宇宙是一个激烈运动的场所,在射电天文学出现之前这是人们所梦想不到的。我们肉眼所看到的天空之所以显得格外平静,是因为我们只是在有限的时间里看到有限的景物的缘故(看到的仅仅是和我们非常邻近的恒星)。

即使在我们银河系的正中心,也有一个微小的区域,最大宽度只有几光年,但却是一个非常活跃的射电源。

另外,顺便说一下,虽然爆发星系存在,活跃的星系核很常见,而且可能很普遍,这些都是事实,但没有必要认为星系碰撞的观念不值得考虑。在任何星系团中,大星系似乎可能是吞并小星系而成长起来的;而且常常是有一个星系比这个星系团中的任何一个其他星系都大得多。许多迹象表明,它是通过碰撞和吸收小星系而达到这样大的规模的。有一张大星系的照片,显示出几个不同的核的迹象,但除了一个以外,其他都不是它自己的,而曾经是单独星系的一部分。于是,**吞并星系**这个词开始使用起来了。

新 天 体

到了20世纪60年代,天文学家们可能会轻易地认为,天空中的物理天体已经不会再有多少令人惊奇的事情了。新的理论和新的见解是会有的,但是在运用不断改进的仪器观测了3个世纪之

后,无疑不会留下什么新型恒星、新型星系或任何其他令人震惊的新种类了。

对于持有这种观点的天文学家来说,当对某些看上去不平常但并不惊人的射电源研究的结果第一次出现时,他们一定会感到万分惊讶。

类星体

天文学家首次研究的深空里的射电源,其存在似乎与含有湍动气体的延伸的天体有关:蟹状星云、远星系等等。然而,有些射电源看上去异乎寻常的小。由于射电望远镜越来越精密,对射电源的观测也越来越清晰,人们开始发现,射电波可能是由单个恒星发射出来的。

在这些射电致密源中,有几个已经知道是3C48、3C147、3C196、3C273与3C286。“3C”是“剑桥第三射电星表”的缩写。这个表是由英国天文学家M.赖尔和他的同事编制的,后面的号码表示这个射电源在表中的位置。

1960年,美国天文学家桑德奇用5米(200英寸)口径的望远镜对含有这些射电致密源的区域进行了仔细地搜寻;每个区域果然都有一颗恒星好像就是射电源。被探测到的第一颗恒星是与3C48联系在一起的恒星。在3C273天区中,最明亮的一个天体的精确位置是哈泽德在澳大利亚测到的,当月球从这个天体前经过时,他记录下了射电中断的时间。

这些有关的恒星在以前对天空进行的照相扫描中早已被记录了下来,过去它们一直被认为只不过是我们银河系的暗弱成员。但是,在它们不寻常的射电辐射的刺激下,对它们又进行了过细地拍照,现在证明完全不是那么回事。暗弱的星云状物质被证明与某些天体有联系,而3C273显示出从它里面喷射出一小股物质喷

流的迹象。事实上,有两个射电源与3C273有关:一个来自这颗恒星,一个来自这股喷流。另外有趣的一点是,在仔细地研究以后,发现这些恒星含有非常丰富的紫外光。

事情似乎是这样,射电致密源尽管看起来像是恒星,但它们终归不是普通的恒星。它们最后被称为**类星射电源**(**类星**意思是“与恒星相似”)。由于这个词对天文学家来说越来越重要,但念起来很不顺口,于是,1964年,中国血统的美国物理学家邱洪宜(音译)把这个词缩略成**类星体**,就这样,一个拗口的字眼永久地进入了天文学词汇。

很明显,类星体非常有趣,有必要使用包括分光镜在内的全部天文技术来进行研究。天文学家桑德奇、格林斯坦和M.施密特等人,经过艰苦的努力终于得到类星体的光谱。当他们在1960年完成这项任务时,发现有许多陌生的谱线他们无法辨认。而且,有一个类星体产生的谱线与任何其他类星体的谱线都不相同。

1963年,M.施密特再次研究3C273的光谱,这颗最明亮的类星体显示出最清晰的光谱。在光谱的6条谱线中有4条排列方式看起来与氢谱线的线系十分类似,不过氢谱线的线系不应该存在于这些谱线被发现的地方。但是,难道这些谱线不可能本来在别的地方,因为它们向光谱的红端位移,才出现在它们被发现的地方吗?如果真是这样,它们的位移会是很大的。曾有人指出,它们以大约每秒40000公里的速度退行。这个数值似乎让人无法相信,而且,如果这种位移现象存在的话,另外两条谱线也应该能证认出来:一条表示失去两个电子的氧;另一条表示失去两个电子的镁。

施密特与格林斯坦转而研究其他类星体的光谱,他们发现,只要假定有巨大的红移,它们的谱线也能证认出来。

这样巨大的红移固然可以由一般的宇宙膨胀产出;但是,如果按照哈勃定律把红移换算成距离,结果证明,类星体根本不可能是

我们银河系里的普通恒星，它们应该在已知的最遥远的天体之列，距离地球几十亿光年。

到 20 世纪 60 年代末期，一次集中地搜寻发现了 150 个类星体。对其中 110 多个的光谱进行了研究。这些类星体中的每一单个类星体都显示出大的红移，确实比 3C273 类星体的红移大。它们中有两个类星体的距离估计大约有 90 亿光年。

如果类星体真像红移显示的那样远的话，那么，天文学家就会面临一些迷惑而难解的问题。举例来说，这些类星体必定非常地明亮，才能在如此遥远的地方仍然显得那么亮：它们一定是整个普通星系光度的 30～100 倍。

然而，如果真是这样，如果类星体具有一个星系的形式和外表的话，那么，一个类星体含有恒星数目应该是一个普通星系的 100 倍，而且其大小也应该是一个普通星系的 5 倍或 6 倍。即使在它们那样遥远的距离，在大型望远镜里也应该呈现出清晰的卵形光斑。然而它们并不形成光斑。即使在最大的望远镜里依然是星状的点。因此，尽管它们特别明亮，在体积上可能比普通星系小得多。

另一种现象也着重说明类星体的体积是小的；因为早在 1963 年，人们就发现，类星体发射出的能量，不论在可见光区域还是射电波区域，都会发生变化。几年期间的记录表明，其增减幅度多达三个星等。

在如此短的时间内，辐射有这样明显的变化，它一定是一个小天体。小的变化可能是由天体的某些局部区域增亮或变暗造成的；但是大的变化，则一定与整个天体有关。如果整个天体与变化有关的话，那么，在发生变化的时间内，某种效应一定会横跨天体的全部宽度。但是任何效应都不能快过光速；因此，如果一个类星体在几年的时间内就发生明显的变化，它的直径不可能大于 1 光

年。实际上,一些计算结果表明,类星体的直径可能小得只有1光周(即光在一星期内走过的路程,等于8 000亿公里)。

体积如此小而亮度又如此大的天体,它们耗费能量的速率必定非常大,因而储存的能量不会持续长久(除非有某种现在想象不到的能源,而这并不是不可能的)。一些计算表明,一个类星体以如此巨大的速率放出能量,只能维持100万年左右。这样看来,我们所看到的类星体是在不久之前(从宇宙的角度来说)才形成的;而且必定有些天体过去是类星体,如今已不再是类星体了。

1965年,桑德奇宣称,他发现的天体可能的确是一些年老的类星体。它们看起来像是普通的蓝星,却同类星体一样有大的红移。它们同类星体一样又远又亮又小,却没有射电辐射。桑德奇称它们为**蓝星体**,简称为BSO。

蓝星体的数量似乎比类星体多得多,1967年曾估计,我们的望远镜所能看到的蓝星体总数为10万个。蓝星体比类星体多得多,因为天体以蓝星体的形式存在的时间比以类星体的形式长久得多。

在天文学家中,认为类星体是非常遥远的天体的观点并不普遍。有人认为,类星体的巨大红移可能不是**宇宙学红移**,就是说,它们不是宇宙通常膨胀的结果,它们大概是比较靠近那些由于某种局部原因(例如,被以巨大的速度从星系核内喷射出来)正在急速远离我们而去的天体。

这种观点的最热心的支持者是美国天文学家阿普,他提出,有些类星体似乎与天空附近的星系有物理上的联系。如果真有联系,它们的距离应该是一样的。因为星系的红移比较小,所以类星体的比较大的红移不可能是宇宙学红移。

另一个令人困惑的问题是20世纪70年代末期的一项发现。类星体内部的射电源(用现今的长基线射电望远镜能够分别探测

到它们)似乎在以几倍于光速的速度分离开去。按照目前的物理理论,超过光速的速度被认为是不可能的,但是只要设想类星体果真像想象的那么遥远,这种**超光速**就有可能存在。如果它们实际上距离比较近,则它们分离的速度就会比光速小。

然而,类星体距离比较近的观点(也就是说它们没有那么亮,也不产生那么多的能量,从而可能解除这种困惑)并没有得到多数天文学家的赞同。一般的观点是,支持宇宙学距离的证据占绝对优势;阿普的有关物理联系方面的证据并不充分;而视超光速是光学幻觉下的结果(而且人们已经提出了一些似乎有理的解释)。

但是,如果类星体真的像它们的红移所显示的那样远,而且真的是如此小,然而却如此明亮,又具有如此大的能量的话,它们到底是些什么东西呢?

最可能的答案要追溯到1943年,当时美国天文学家赛弗特观测到一个奇特的星系,具有一个非常亮而又非常小的核。后来又陆续观测到了几个同类型的星系,现在我们把这些星系统称为**赛弗特星系**。虽然到20世纪60年代末,只发现了12个这种星系,但是推测可能有1%的星系是赛弗特星系是有道理的。

赛弗特星系会不会是介于普通星系与类星体之间的天体呢?它们的明亮的中心所呈现的亮度变化,使它们的中心几乎显得像类星体一样小。如果它们中心的亮度进一步增强而星系的其余部分进一步暗弱的话,它们将变得与类星体无法区别;而且,有一个3C120的赛弗特星系看起来几乎就是一个类星体。

赛弗特星系只有中等的红移,而且并不十分遥远。类星体会不会是非常遥远的赛弗特星系?这些星系远得使我们只能看到它们的亮而小的中心;而且远得使我们只能看到最大的星系,而正是这些最大的星系给我们以类星体特别明亮的印象。反过来,我们是否可以正确地推测,类星体尽管非常遥远,但仍是我们能够看到

的非常大的赛弗特星系?

确实,最近拍摄的照片显示出类星体周围有雾状物的迹象,似乎表明是一个暗弱星系包围着小而活跃并且非常明亮的中心。因此我们可以假设,距离我们10亿光年以外的宇宙的远方,就像我们比较邻近的区域一样充满着星系。然而,这些星系大都暗弱得用光学的方法分辨不出来,因此,我们只看到它们之中最大和最活跃的星系的明亮中心。

中子星

如果射电辐射曾引发出上述奇特而令人困惑的天体——类星体,那么,对光谱另一端的研究则引出了另一种同样奇特的天体。

1958年,美国天体物理学家弗里德曼发现,太阳发射出大量的X射线。这些射线在地球表面探测不到,因为大气层会把它们吸收掉;但是火箭可以发射到大气层以上,并且可携带适当的仪器,因而可以轻易地探测到这种辐射。

有一段时期,太阳的X射线源是一个令人困惑的问题。太阳表面的温度只有6000℃,虽然足以蒸发任何形式的物质,却不足以产生X射线。这个X射线源必定在太阳的日冕中;日冕是太阳周围稀薄的气体晕,从太阳向四面八方延伸出几百万公里。虽然日冕所发出的光足有满月的一半,但完全被太阳本身的光所遮蔽,只有在日全食时才会看到,至少在一般的情况下是这样。1930年,法国天文学家李奥发明了一种望远镜,天气晴朗时,即使没有日食发生,在高处也可以观测到日冕。

日冕之所以会被认为是X射线源,是因为早在利用火箭研究X射线以前,人们就怀疑它具有非常高的温度。对日食时日冕光谱的研究发现,有些谱线与任何已知元素都联系不起来。人们怀

疑这是一种新元素并命名为氪①。然而,1941 年,人们发现这种新元素的谱线可以由被剥夺了多个亚原子粒子的铁原子产生出来。但是,要夺去所有这些粒子需要大约 100 万度的高温,而如此高的温度足可以产生 X 射线了。

当太阳耀斑爆发喷入日冕时,X 射线辐射会明显地增加。这时的 X 射线强度表明,耀斑上方日冕的温度高达 1 亿度。日冕的稀薄气体为什么会有如此高的温度,至今仍然是一个有争议的问题。(一定要把这里所说的温度同热区分开来。日冕中的温度是气体中原子或粒子动能的一种量度,因为气体中粒子很少,所以单位体积的实际热容量非常低。X 射线就是由这些极高能粒子碰撞产生的。)

太阳系以外的地方也有 X 射线射来。1963 年,罗西与其他天文学家一起利用火箭把一些仪器带到空间,想知道太阳的 X 射线是不是由月球的表面反射来的。结果从天空的其他地方探测到两个特别集中的 X 射线源。较弱的一个(金牛 X-1,因为它在金牛星座里)很快就同蟹状星云联系在一起。而较强的一个则是天蝎座里的天蝎 X-1,1966 年发现它与一个光学天体联系在一起,这个光学天体似乎是一个老新星的残骸(与蟹状星云相似)。此后,在天空中又探测到许多其他 X 射线源。

要发射出跨越星际空间后强度仍足以被探测到的高能射线,必须要有一个温度极高而且质量极大的射电源。太阳日冕发射的 X 射线的强度完全达不到这种程度。

一个天体同时具有巨大的质量和 100 万度的温度,这表明它是一种比白矮星更致密、更极端的天体。早在 1934 年,兹威基就提出过,在一定的条件下,白矮星的亚原子粒子可能会结合成为叫

① 一种假设的化学元素。——译注

做**中子**的不带电粒子。而后这些中子被挤压到一起直到互相紧贴着。结果会形成一个直径不超过16公里(10英里)的球体,却仍然保留着原来整个恒星的质量。1939年,美国物理学家奥本海默比较详细地研究了这种**中子星**的特性。这种天体可以得到极高的表面温度,从而放射出大量的X射线,至少在形成后的初始阶段是这样。

弗里德曼重点在蟹状星云中搜寻这种中子星存在的实际证据,因为人们认为,形成蟹状星云的大爆发遗留下来的可能不是一颗致密的白矮星,而是一颗超致密的中子星。1964年7月,当月球掩食蟹状星云时,曾向大气层以外发射了一枚火箭,以记录X射线辐射。如果X射线辐射来自一颗中子星,那么,当月球从这个微小的天体前面经过时,会一下子把X射线辐射全部挡住。如果X射线辐射来自整个蟹状星云,那么,在月球一点儿一点儿地掩食星云时,X射线辐射会逐渐衰减下去。结果证明是后一种情况,蟹状星云似乎只不过是一个更大、更强的星系冕。

一时间,中子星实际存在并可以被探测到的可能性减小了;但是在对蟹状星云试验失败的同一年,在另一方面却有了新的发现。某些射电源发射的射电波,在强度方面似乎显示出极快速的起伏,就好像天空到处都有射电波"闪烁"。

天文学家们很快就设计出了能够捕捉到这种爆发时间很短的射电辐射的仪器。他们认为,利用这些仪器能够非常详细地研究这些快速的变化。英国剑桥大学天文台的天文学家休伊什使用的就是这种射电望远镜。他监造的2048个单独的接收装置,在大约12000平方米的面积上摆成阵列;1967年7月,这个阵列开始工作。在不到一个月的时间里,在一位年轻的英国研究生J.贝尔的控制下,在织女星和牛郎星中间的一个地方探测到射电能的爆发。这种短的爆发并不难探测到。如果天文学家早些时候期待发

现这种短的爆发并研制出探测它们的仪器的话，本来是可以早些年发现它们的。碰巧，这些爆发短得惊人，仅持续 1/30 秒的时间。更令人惊讶的是，这些爆发以 1.33 秒的间隔一个接一个非常有规律地发生。事实上，这些有规律的间隔可测到一亿分之一秒的精确度：即 1.337 301 09 秒。

当然，没有办法说明这些脉冲代表着什么，至少在最初时是这样。休伊什只好认为这是一种**脉动着的恒星**，每一次脉动都有一次能量爆发。这个名字很快就被简称为**脉冲星**，从而人们又知道了一种新的天体。

应该说这种新天体不止一个。休伊什发现了第一颗脉冲星以后，马上搜寻其他的脉冲星。1968 年 2 月，当休伊什宣布他的发现时，他已经找到了 4 颗脉冲星的位置，终于他获得了 1974 年的诺贝尔物理学奖。这时，其他的天文学家才开始热心地搜寻脉冲星，现在知道的脉冲星已有 400 多颗。在我们的银河系中可能一共有 10 万颗脉冲星。有些可能近在 100 光年左右。（没有任何理由认为在其他星系中没有脉冲星，但是在如此遥远的距离，它们大概过于微弱而探测不到。）

所有脉冲星都有极规则的脉动，但是它们的精确周期却各不相同。有一颗脉冲星的周期长达 3.7 秒。1968 年 11 月，天文学家在西弗吉尼亚的格林班克探测到蟹状星云里的一颗脉冲星，周期只有 0.033 089 秒。它每秒脉动 30 次。

人们自然会问：到底是什么东西能够产生如此规律而短暂的爆发？某个天体一定在经历着某种非常有规律的变化，而变化的间隔快得足以产生这些脉冲。会不会是一颗行星，在绕恒星运行的过程中，每公转一周都要运行到恒星背后一次（从地球的方向看去），而当它再出现时，发射出射电波的强烈闪光？或者，会不会是一颗自转着的行星，每自转一周，它表面上的某个会放射出大量射

电波的特殊斑块就朝我们的方向扫射一次?

但是,要是这种情况的话,一颗行星必须以几秒或几分之一秒的周期绕恒星公转或绕自己的轴自转,而这是难以想象的。要产生像脉冲星的脉冲那样快的脉冲,某个天体必须以巨大的速度自转或公转,这就要求这个天体的体积非常小,但同时要有极高的温度或强大的引力场或两者兼有。

这使人们立即想到了白矮星,但即使是白矮星,它们相互绕转、自转或脉动的周期也短不到可以说明脉冲星的程度。此外,白矮星的体积还是太大了,而它们的引力场却太弱了。

戈尔德立即提出,这可能是中子星。他指出,中子星体积小而密度大,足以在 4 秒或在更短的时间内自转一圈。而且,理论上已经证明,中子星会有非常强的磁场,而磁极不一定在自转极的位置。电子被中子星的引力紧紧地束缚住,只能在磁极处逸出。当这些电子被甩出时,它们会以射电波的形式失去能量。因此,从中子星表面相对应的两个点上,会发射出稳定的射电波束。

如果中子星自转时,一束射电波或两束射电波朝我们方向扫过的话,那么,中子星自转一周我们就会探测到一次或两次短暂的射电波能爆发。如果是这种情况的话,脉冲星在自转时必须至少有一个磁极正巧朝我们的方向扫过,我们才能探测到它们。一些天文学家估计,100 个中子星中大约只有 1 个符合这个条件。如果在银河系里真有 10 万个中子星的话,从地球上大概只能探测到 1 000 个。

戈尔德进一步指出,如果这个理论是正确的,则中子星会从磁极泄漏出能量,从而使自转的速度减慢。因此,脉冲星的周期越短就越年轻,损失能量和减慢速度也就越快。

当时知道的最快的脉冲星在蟹状星云里。它可能是最年轻的一个,因为遗留下这颗中子星的超新星爆发,发生的时间还不到

1 000 年。

人们对蟹状星云脉冲星的周期进行了仔细研究，果然发现，正如戈尔德所预测的那样，它的自转速度在减慢。它的周期每天增加 10 亿分之 36.48 秒。在其他脉冲星中发现也有同样的现象。进入 20 世纪 70 年代后，中子星假说被人们广泛接受。

有时候脉冲星会突然稍微加快周期，然后又恢复减慢的趋势。一些天文学家认为，这可能是由**星震**造成的。星震是中子星内部质量分布的转移现象。也可能是某个相当大的天体冲入中子星，把它的动量加到了中子星上。

没有理由认为，从中子星里发射出来的电子只是以微波的形式失去能量。这一现象应该产生光谱中所有的波。它还应该产生可见光。

人们将注意力集中在蟹状星云里的一些天区中，那里可能会有过去超新星爆发遗留下的可见残骸。果然，1969 年 1 月，人们注意到，在蟹状星云里有一颗暗星的光以微波脉冲的准确时间忽隐忽现。如果天文学家过去有过应该搜寻这种快速明暗交替的想法的话，很早以前就会发现这颗星。蟹状星云脉冲星是发现的第一颗光学脉冲星，即第一颗可见的中子星。

蟹状星云脉冲星也会放射出 X 射线，在来自蟹状星云的全部 X 射线中，大约有 5% 是从这个微小的闪烁着的光点放射出来的。于是，1964 年似乎已经奄奄一息的 X 射线与中子星之间的关系，又胜利地复活了。

人们可能会认为，中子星不会再有令人惊讶的事了；但是 1982 年，天文学家们在波多黎各利用 300 米口径的阿雷西博射电望远镜发现了一颗脉冲星，每秒钟脉动 642 次，比蟹状星云脉冲星快 20 倍。这颗星可能比大多数的脉冲星都小，直径大约不会超过 5 公里；而质量可能是我们太阳质量的 2 倍或 3 倍；此外，引力场

也必定非常强。但即使是这样,如此快速的自转也一定近乎于把它扯碎的程度。另一个令人迷惑的问题是,与它消耗的巨大能量比起来,它自转的速率减慢得没有预料的那么快。

后来又探测到第二颗这样的**快脉冲星**,科学家们正在忙着推测它存在的原因。

黑洞

中子星也不是极限。当奥本海默在1939年研究出中子星的性质时,他还预言,一颗质量足够大的恒星(超过我们太阳质量的3.2倍)可能会坍缩成一个点(**奇点**)。当这种坍缩超过中子星阶段以后,引力场的强度将变得十分强大,任何物质(实际上,连光线在内)都不能逃逸出来。任何物质如果被它的难以想象的强引力场吸住,都会陷进去而再无逃脱的机会,因此可以把它形象地说成是空间的一个无限深的"洞"。因为连光线也逃逸不出来,所以是个**黑洞**。黑洞这个词是美国物理学家惠勒在20世纪60年代首先使用的。

具有足够的质量而有机会在坍缩时形成黑洞的恒星大约只占1/1 000;而在这1/1 000的恒星中,大多数在超新星爆发的过程中会失去足够质量,从而避免形成黑洞的命运。即使如此,目前仍可能有数千万颗这样的恒星存在,而自我们银河系存在以来可能已有10亿颗。即使这些大质量恒星实际上只有1/1 000在坍缩时形成黑洞,在我们银河系的各个地方仍应该有100万个黑洞。如果真是这样的话,那么,它们到底在哪里呢?

麻烦的是,黑洞极难探测到。因为它们不发射光或任何形式的辐射,所以用一般的方式看不到它们。而且,尽管它们的引力场对邻近的区域非常强大,但在星际距离上,引力场的强度并不比一般恒星大。

但是在某些情况下，黑洞会在一些特殊的条件下存在，因而可能被探测到。假设一个黑洞是一个双星系统的一部分；它和一颗伴星环绕着一个共同的引力中心转动，而这颗伴星是一颗普通的恒星。

假如它们彼此间靠得非常近，那么，普通恒星上的物质便一点儿一点儿地向黑洞漂移，并形成一个环绕黑洞的轨道。这种在环绕黑洞的轨道上的物质叫做**吸积盘**。在吸积盘里物质会一点儿一点儿地螺旋般地进入黑洞，并在进入黑洞的过程中放射出 X 射线。

然后，我们必须在看不到恒星的天空中搜寻有没有 X 射线源，但这个源必须看上去环绕着另一颗邻近的可见恒星转动。

1965 年，在天鹅座探测到一个特别强的 X 射线源，被命名为天鹅 X-1。据推测，它大约距离我们 10000 光年。1970 年从肯尼亚海岸发射了一颗 X 射线探测卫星，从空间探测到 161 个新 X 射线源。而在此之前，天鹅 X-1 一直被认为只是又一个普通的 X 射线源。1971 年，这颗 X 射线探测卫星探测到，从天鹅 X-1 发射出来的 X 射线在强度上有不规律的变化。这种不规律的变化正是物质在喷发中从吸积盘进入黑洞时所预料发生的。

人们立即对天鹅 X-1 进行了仔细地搜寻，在它邻近的地方发现了一颗质量约为我们太阳 30 倍的又大又热的蓝星。天文学家博尔特在多伦多大学证明，这颗星和天鹅 X-1 相互绕着对方旋转。从轨道的性质来判断，天鹅 X-1 是一颗普通的恒星，它必然会被观测到。因为它不曾被人看到，所以它必定是一个非常小的天体。同时，因为它的质量太大，不可能是一颗白矮星，甚至不可能是一颗中子星，所以它必定是一个黑洞。虽然天文学家还没有完全肯定这个假设，但是大多数天文学家对这个证据表示满意，并且相信天鹅 X-1 是将被发现的第一个黑洞。

黑洞似乎可能在恒星分布最稠密的地方和大块物质可能在一处聚集的地方形成。因为辐射的高强度是和球状星团或星系核等恒星聚集的中心区域联系在一起的,所以,天文学家们越来越相信,在这种星团或星系的中心存在着黑洞。

在我们银河系的中心确实探测到一个致密而高能的微波源。这个微波源会不会是一个黑洞呢?一些天文学家推测那的确是一个黑洞,并推测我们银河系的黑洞有1亿颗恒星的质量,相当于我们整个银河系质量的1/1 000。它的直径约为太阳的500倍(相当于一颗巨大的红巨星的直径),大到足以通过潮汐效应将恒星分裂,如果恒星接近的速度够快的话,甚至会在恒星瓦解之前将它整个吞掉。

实际上,现在看来,物质从黑洞中逃脱出来是可能的,当然不是以一般的方式。1970年,英国物理学家霍金指出,黑洞所含的能量有时会产生一对亚原子粒子,其中之一会脱离黑洞。实际上,这就是说黑洞会**挥发**。一般恒星般大小的黑洞挥发的非常慢,要把黑洞全部挥发掉,需要的时间长得令人难以想象(大约是目前宇宙寿命的几万万亿倍)。

然而,当黑洞的质量变小时,挥发的速率会增加。一个大小不超过一个行星或小行星的**微型黑洞**,它的挥发速率将会快得足以发射出大量的X射线。而且随着挥发和质量的减小,挥发的速率和X射线的产生率都会稳定地增加。最后,当微型黑洞小到一定程度后,它就会爆发并发射出具有γ射线特性的脉冲。

但是,究竟是什么力量把少量的物质压缩到形成微型黑洞所需要的如此高的密度的呢?大质量恒星可以由本身的引力场自行压缩,但是行星般大天体靠自身的引力场就不行了,因为后者比前者需要更大的密度才能形成黑洞。

1971年,霍金提出,微型黑洞是在大爆炸时形成的,因为那时

的条件远比其他任何时候极端。那时形成的微型黑洞有一些可能是非常小的,即使今天,在它们存在150亿年之后,它们已经挥发成为一个爆炸点,而天文学家仍可能会探测到γ射线,从而证实它们的存在。

这个理论虽然具有吸引力,但到目前为止,还没有人报道过这种证据。

"空虚的"空间

但是,如果说宇宙中存在着使我们惊奇的天体的话,在恒星之间广大并非空虚的空间里,也存在着许多令人惊奇的东西。这个并非真正"空虚的"空间,已证明是天文学家观测比较近的天空的一个困难。

在某种意义上,最难观测的星系是我们的银河系。原因之一就是我们处在银河系之中,而其他星系我们都可以从外面看到它们的全貌。两者之间的差异就好像站在一个低屋顶上和在飞机上观看一个城市一样。而且,我们离银河系中心相当远,更有甚者,我们处在一个充满尘埃的旋臂上。换句话说,我们就好像是在一个有雾的天气里,站在郊外的低屋顶上眺望城市。

一般说来,即使在最好的情况下,恒星间的空间也不是完全的真空。在各星系内部,通常都有一种稀薄的气体弥漫于其间。1904年,德国天文学家哈特曼首先探测到由这种**星际气体**引起的光谱吸收线。在一个星系的边缘,气体和尘埃的浓度变得很大。我们可以看到在较近星系的周围有这种暗尘埃雾。

实际上,有一种简单的方法,我们可以把银河系的尘埃云看成是银河里的暗区。例如,黑暗的马头星云,就是由环绕在其周围的几百万颗明亮的恒星衬托出来的;而位于南十字座的煤袋暗星云则是另一个有名的例子,它距离我们约400光年,尘埃粒子散布在

直径为 30 光年的区域中。

虽然气体尘埃云遮住了我们直接观看银河系旋臂的视线,但是我们仍可借助分光镜观测旋臂的结构。气体尘埃云中的氢原子被旋臂中的明亮的星族 I 的恒星所发射的高能辐射电离成带电的亚原子粒子。1951 年初,美国天文学家摩根发现电离氢的条纹,并标示出蓝巨星——也就是旋臂——的谱线。它们的光谱与仙女座星系旋臂所显示的光谱非常相似。

最靠近我们的这样一条电离氢条纹,包含了位于猎户座的蓝巨星,因此这个条纹被称为猎户臂,我们的太阳系就在这个旋臂中。另外两条旋臂也是用同样的方法找到的,其中一条比我们距离银心还远,包含了英仙座的巨星,称为英仙臂。另一条距离银心较近,含有人马座里的亮星云(人马臂)。每条臂似乎有大约 10 000 光年长。

后来射电波成为一种更有力的工具。因为它不仅可以穿透模糊的星云,而且还能够通过它们自己的声音让星云讲出自己的经历。这是荷兰天文学家范得胡斯特研究的结果。1944 年,荷兰在纳粹军队的占领之下,天文方面的观测几乎是不可能的。因此,范得胡斯特只能利用纸和笔来研究星际气体中的主要成分普通氢原子的特性。

他提出,这种原子偶尔在碰撞时会改变它们的能态,并在改变能态的过程中放射出光谱中射电部分的微弱辐射。一个氢原子大约要 1 100 万年才改变一次能态;但是星系际空间存在着大星的氢原子,因此,每时每刻都会有足够的氢原子发射出可以连续探测到的辐射。

范得胡斯特计算这种辐射的波长应该是 21 厘米。果然,随着战后新射电技术的发展,1951 年,哈佛大学的珀塞耳和尤恩探测到了这支“氢之歌”。

通过接收聚集氢的21厘米辐射,天文学家能够察觉各条旋臂的踪迹,并跟踪很长的距离——在大多数情况下几乎能绕银河系一周。于是发现了更多的旋臂,而氢的聚集图显示出6个以上的条纹。

此外,"氢之歌"还告诉了我们氢的运动情况。像所有波一样,这种辐射也有多普勒-斐索效应。这就使天文学家能够测量出运动着的氢云的速度,从而除了别的之外,探测到我们银河系的旋转。这项新技术证实,银河系的旋转周期(在我们到银心的距离上)为2亿年。

在科学上,每一项新发现都会打开通往新的神秘的大门,同时,最重大的发展往往来自意外的发现,即推翻原有观点的发现。这里有一个有趣的例子,对我们银心的一个氢聚集区的射电研究,发现了一个令人困惑的现象。似乎仍在扩散着的氢却被局限在银河系的赤道面上。这种扩散本身是令人惊奇的,因为没有一种理论能够解释这种现象。而且,如果氢正在扩散着,那么,在银河系长久存在期间,它为什么没有全部消散?它是否表示,像奥尔特所猜想的那样,大约1000万年前银河系中心曾经爆发,如同更近时期M-82所发生的爆发一样?再者,氢的平面并不是非常平的,而是一端向下弯曲,另一端则向上弯曲。为什么会有这种现象,到目前还没有人提出适当的解释。

就射电波而言,氢不是(也不应该是)惟一的元素。每一种不同的原子或原子的组合,都能够发射出特征射电辐射,或者从总的背景中吸收特征射电辐射。因此,天文学家便自然地开始搜寻除最普通的氢以外的其他原子的蛛丝马迹。

自然界里的氢几乎都属于最简单的一种,即**氢-1**。另外,还有一种比较复杂的**氢-2**,也称为**氘**或**重氢**。天文学家仔细搜寻天空中不同位置放射的射电波辐射,企图找出理论预测的氘的波长。

1966 年终于探测到了这种波长,同时测知宇宙中氢-2 的含量大约是氢-1 的 5%。

宇宙中最普通的成分,除了氢以外,就是氦和氧了。一个氧原子和一个氢原子结合形成一个**羟基**。在地球上,这种结合是极不稳定的,因为羟基很活泼,几乎可以与它遇到的所有其他原子或分子结合。它特别容易与第二个氢原子结合形成一个水分子。然而,在星际空间中,由于原子扩散得很稀薄,因而原子间碰撞的机会极少,羟基一旦形成,就会长时间不受干扰,正如 1953 年苏联天文学家什克洛夫斯基所指出的那样。

经计算证明,这种羟基会放射或吸收 4 种特殊波长的射电波。1963 年 10 月,其中的两种射电波被麻省理工学院林肯实验室的射电工程师小组探测到。

由于羟基的质量大约是单个氢原子的 17 倍,所以运动比较缓慢。在任何特定的温度下,羟基的运动速度只有氢原子的1/4。一般来说,运动会使波长变得模糊起来,因此,羟基的波长比氢的清晰。羟基的位移比较容易测定,同时,也比较容易判断含有羟基的气体云是在接近还是在退离。

当天文学家在广阔的星际空间发现了含有两个原子的化合物时,虽然很高兴,但并不感到十分惊讶。他们自然而然地开始搜寻其他化合物,但并不抱有很大的希望。由于在星际空间原子扩散得十分稀薄,因此,使两个以上的原子有足够长的时间相聚而形成化合物的机会是极少的。不如氧原子普遍的原子(例如碳和氮,它们是仅次于氧的比较容易形成化合物的元素)似乎根本没有形成化合物的可能性。

但是,从 1969 年开始,却出现了真正令人惊讶的事情。同年 11 月,天文学家发现了水分子(H_2O)的射电波“指纹”。这些水分子是由 2 个氢与 1 个氧共 3 个原子结合成的。在同一个月里,还

探测到了氨分子(NH_3),这更加令人惊奇。氨分子是由 4 个原子结合成的,其中 3 个是氢,另 1 个是氮。

1969 年,又探测到含有 1 个碳原子的 4 原子化合物。这就是甲醛(H_2CO)。

1970 年又有一些新发现,其中包括 5 原子的分子丙炔腈,它含有一条由 3 个碳原子构成的链(HCCCN);另外还探测到含有 6 个原子的分子甲醇(CH_3OH)。

1971 年,探测到由 7 个原子结合成的甲基乙炔(CH_3CCH)分子。而 1982 年,探测到 13 个原子的化合物氰基癸五炔,它含有 1 条由 11 个碳原子构成的直链,链的一端有 1 个氢原子,另一端有 1 个氮原子($HC_{11}N$)。

天文学家们发现,他们面临着一门崭新的、未曾预料到的科学分支:**天体化学**。

这些原子是如何聚集在一起而形成复杂分子的呢?这种分子在恒星的硬辐射的冲击下是怎样保留下来的呢?在通常情况下,这些分子是会被分解的。对此目前天文学家还无法解释。据推测,这些分子并不是在我们想象的空虚的星际空间形成的,而可能是在即将演化成恒星的正在增厚的尘埃云区域产生的。

如果是这样的话,人们可能会探测到更加复杂的分子,而这些分子的存在会使我们对行星上生命演化的观点发生彻底的改变。对此我将在下面几章中加以阐述。

(朱 岚 译)

第三章 太 阳 系

太阳系的诞生

无论宇宙多么壮丽辽阔,深邃莫测,我们总不能永远沉湎于它的宏伟之中。我们必须回到我们生活的星球小家族中来,回到我们的太阳以及环绕着太阳的星球上来。

到了牛顿时代,人们已经能够把地球和太阳系的产生作为整个宇宙产生问题中的一个单独问题进行理智的推测。(太阳是构成我们银河系的亿万颗恒星中的一颗,而地球是环绕着太阳的行星中的一个。)太阳系的示意图(图 3-1)表明,太阳系是一个具有某些统一特征的结构。

1. 所有的大行星几乎都在太阳的赤道面上环绕着。换句话说,如果你给太阳和它的行星做一个立体模型的话,你就会发现这个模型可以做得正好放进一个非常浅的平底锅上。

2. 如果你从北极星方向往下看太阳系的话,所有的大行星都以相同的方向——逆时针方向绕着太阳转动。

3. 各个大行星在绕太阳公转的同时,还绕自己的轴逆时针方向的自转(有某些例外);太阳本身也在逆时针方向自转。

4. 这些行星离太阳的距离平稳地增加,而且都有近乎圆形的轨道。

5. 除了某些例外,所有的卫星都在其各自的行星赤道面上,

图3-1 太阳系示意图,按照行星的相对大小排列出次序

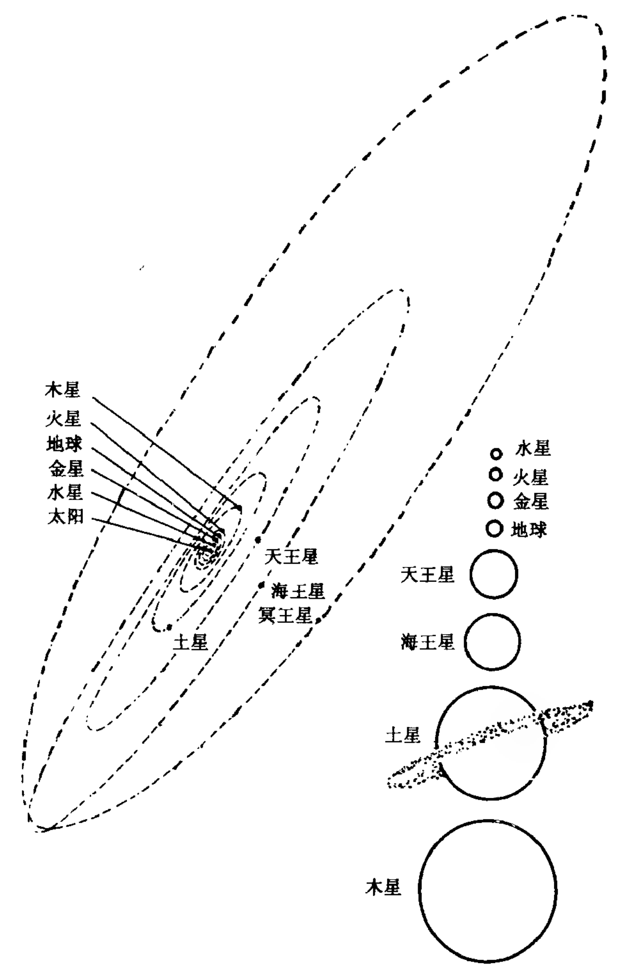


图3-1 太阳系示意图,按照行星的相对大小排列出次序

以近乎圆形的轨道沿着逆时针方向绕行星运行。

这张图中的普遍规律性使人们自然而然地认为,整个太阳系

是由某种单一的过程产生的。

那么,太阳系的生成过程是怎样的呢？到目前为止,所提出的全部理论可以分为两类:灾变说和演化说。灾变说的观点是,太阳是单独生成的,在其历史上的某个较晚的阶段,由于发生了某个激烈的事件,结果使太阳得到了一个家族。演化说则认为,太阳和行星,整个系统从一开始就是以有条不紊的方式形成的。

在18世纪,当时科学家们仍迷惑于圣经故事中的大洪水之类巨大事件,因此认为地球的历史充满着激烈的灾变的假说颇受欢迎。那么为什么不能有一次超级大灾变来开始这整个过程呢？法国博物学家布丰1745年提出了一个流行的理论,认为太阳系是太阳和一个彗星在一次相撞时产生的碎片生成的。

布丰当然指的是太阳和另一个具有相当质量的天体的碰撞,他之所以称这个天体为彗星是由于想不出别的名称。我们现在知道,所谓彗星,其实是被几缕极稀薄的气体及尘埃包围着的微小天体。但布丰的理论仍然可以存在,只要我们给碰撞的天体另起一个名字就行了。后来,天文学家们又回到了他的想法。

虽然如此,对某些人来说,把引起太阳系诞生的过程,设想成一个时间很长很长的非灾变的过程,似乎更为自然,更少偶然性。这种想法能以某种方式适应牛顿所提出的支配宇宙中星球运动的自然定律。

牛顿自己曾经提出,太阳系可能是由稀薄的气体尘埃云在万有引力的作用下逐渐凝聚而成的。当这些粒子聚集在一起时,引力场会增强,从而会加速凝聚,最后,整个质量就会坍缩成一个致密的天体(太阳),收缩所释放的能量使天体变得炽热。

实质上,这是今天有关太阳系起源的一些最流行的理论的基础。但是要回答一些具体问题,还有许许多多困难的问题需要解决,比如说,高度离散的气体怎么能被非常微弱的引力聚集在一起

呢？近几年来，天文学家提出，这一起始力可能是一次超新星爆发。设想一大片数十亿年来没有多大变化的气体尘埃云，恰巧行经一颗刚刚爆发的超新星周围，爆发产生的激波和巨大的尘埃气体风暴强行冲入那片接近宁静的气体尘埃云，增强了它的引力场，开始了它的凝聚，结果就形成了一颗恒星。

如果这就是太阳诞生的方式，那么行星又是如何产生的呢？它们是从哪里来的呢？1755年康德首先试图解答这个问题，1796年法国天文学家兼数学家拉普拉斯也试图独立地解答这个问题。拉普拉斯描述得比较详细。

根据拉普拉斯的描述，开始时这一大团收缩的物质云在旋转着，越收缩旋转得越快，正如滑冰的人把手臂内收时旋转得更快一样。（这种效应是由于**角动量守恒**：角动量等于转动物体的转动惯量 I 和角速度 ω 的乘积，即 Iω。对于不受外力作用的给定物体，总角动量为恒量。当滑冰者双臂收回时，转动惯量 I 减小，角速度 ω 增大，所以旋转得更快。）当这团旋转的气体尘埃云加速后，按照拉普拉斯的说法，会从其快速旋转的赤道上抛出一个物质环，从而减少了一些角动量，剩下的气体尘埃云就慢下来。但是因为它进一步收缩，它就会再一次达到那个速度，使它抛出另一个物质环。这样，正在聚结中的太阳就留下一系列的圆环——轮胎状的物质云。拉普拉斯认为，这些圆环逐渐凝聚成行星，而它们自身也按着这个过程抛出一些小圆环，形成它们的卫星。

因为根据这个观点，太阳系的起源乃是一团云或星云，同时因为拉普拉斯曾举仙女座星云为例（当时还不知道仙女座星云是一个巨大的星系，而被认为是一团旋转着的气体尘埃云），所以这种说法被称为**星云假说**。

拉普拉斯的星云假说看起来非常符合太阳系的主要特征——甚至某些细节。比方说，土星的光环很可能是凝结不起来的卫星

环(如果把这些环聚集在一起,的确能够形成一个相当大的卫星)。同样,在火星和木星之间的一条带区里绕着太阳运转的小行星,可能是一个环的一些节段的产物,这个环未能聚合成一个行星。而当亥姆霍兹和开尔文勋爵逐步建立起太阳的能量来自太阳慢速收缩的理论时,他们的理论似乎也符合拉普拉斯的说法。

星云假说盛行了大半个19世纪,但在19世纪结束之前却出现了明显的致命缺陷。1859年,麦克斯韦以数学的方法分析土星环,发现由任何物体抛出的气体物质环只能凝结成像土星环那样的小粒子集合体,永远不会形成一个固体,因为万有引力会把环拉散,不让它凝聚成一个坚固天体。

角动量的问题也出现了。原来在太阳系中,行星所占的质量仅略大于0.1%,却拥有总角动量的98%!单是木星就占有整个太阳系总角动量的60%。太阳则只占原始星云角动量的极小的一部分。那么,为什么几乎全部的角动量都集中在从星云分裂出去的小环上呢?

由于下述情况,这个问题变得更加令人迷惑不解:木星和土星都有一个卫星系统,看上去像是两个小型的太阳系,而且可能是以同样的方式形成的;但是中心的行星体却保留了大部分角动量。

到了1900年,星云假说已经毫无生气,以致任何演化的观点似乎都不可相信。于是灾变说又登场了。1905年,两位美国科学家钱伯林和莫尔顿用一个比彗星更好的字眼,把行星解释成是太阳和另一颗恒星几乎碰撞的结果。这次相遇从太阳和那颗恒星中拉出一些气体物质,留在我们太阳附近的那些物质云团后来凝缩成一些小的星子,然后再聚成行星。这就是**星系假说**。至于角动量的问题,英国科学家金斯和H.杰弗里斯1918年提出了一种**潮汐假说**,他们认为,从我们太阳旁边经过的那颗恒星的万有引力把被拖出去的气体物质从侧面猛拉了一下,从而使气体物质有了角

动量。如果这种灾变理论是正确的,那么行星系统将会是非常稀少的。超新星爆发已经是很罕见的了,而分布遥远的恒星发生碰撞的可能性还不到超新星的1/10000,据估计,根据这种理论,在银河系的一生中,能够产生太阳系这类的碰撞大概只发生过10次。

但是,在数学分析的检验之下,这些设计灾变的最初企图均未成功。罗素证明,在任何这种接近碰撞中,行星在离太阳就像实际那么远的地方就早毁灭了。此外,为了补救这一理论,人们曾经设想了各种实际碰撞而不是接近碰撞的情形,也没有什么成效。在20世纪30年代,利特尔推测有一次三颗恒星相撞的可能性;后来,霍伊尔提出太阳曾经有过一个伴星,以后变成超新星消失了,留下了现在这些行星。然而1939年,美国天文学家斯皮策证明,在任何情况下,从太阳抛射出来的任何物质都会因过热而无法凝聚成为星子,而只能扩散成稀薄的气体。这个结论似乎结束了灾变的一切想法。(不过,1965年仍有一位英国天文学家伍尔夫森认为,太阳可能是从一个松散的冷恒星那里得到它的行星物质的,如此将不涉及极高温的问题。)

于是,在星子理论结束之后,天文学家们又回到了演化的观点,而对拉普拉斯的星云假说另眼相看了。

这时,天文学家们对宇宙的了解已有了巨大的进展,现在他们必须说明星系的形成。形成星系所需要的气体尘埃云,要比被拉普拉斯设想为我们太阳系之母的云团大得多。同时,现在看来,这样一些巨大的物质集合体会经过湍流而分裂成许多旋涡,而每个旋涡都有可能凝结成一个独立的系统。

1944年,德国的天文学家韦扎克对这个构想作了透彻的分析。他计算出,最大的旋涡含有形成星系的足够物质。旋涡在湍流收缩期间会产生子旋涡,每个子旋涡也很大,足以产生一个太阳

系(包含一个或多个太阳),而在太阳旋涡外围的亚子旋涡则可能形成行星。于是,在这些亚子旋涡汇合处就像啮合的齿轮一样反向运转,形成的尘埃粒子会互相碰撞并聚合在一起,先形成星子,然后再聚合成行星(图 3-2)。

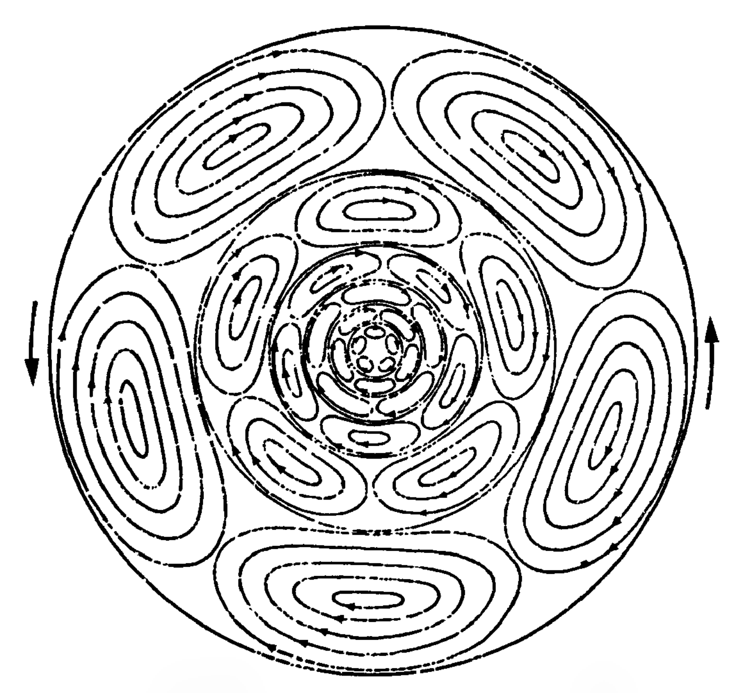


图 3-2　韦扎克的太阳系起源模型。他的理论认为,由小云团组成的巨大云团分裂成大旋涡和子旋涡,然后再并合形成太阳、行星及行星的卫星

在解决行星角动量的问题上,韦扎克的理论本身并没有超过比它简单得多的拉普拉斯理论。瑞典天体物理学家阿耳文考虑到了太阳的磁场。当年轻的太阳快速旋转时,它的磁场就如同制动器一样使它减速,从而将角动量传递给行星。霍伊尔对这一观点

作了详细的说明，因而使修改后的韦扎克理论既包括万有引力也包括磁力，似乎是迄今为止能够说明太阳系起源的最好的理论。

太　　阳

很明显，太阳是地球上光、热和生命本身的源泉。甚至在史前时代，人类就必定会把太阳当做神来崇拜。我们所知道的第一个一神论者，是公元前 1379 年取得埃及王位的法老埃赫那顿，他就把太阳当做惟一的神。在中世纪时代，太阳是完美的象征，虽然它本身没有被认为是神，但无疑地认为它代表着上帝的完美。

最早对太阳的实际距离有概念的是古希腊人。阿利斯塔克的观测指出，太阳离我们至少有数百万公里远，因此根据肉眼所见的大小来判断，它必然比地球大。然而只是大小尚不能给人以深刻的印象，因为很容易把太阳设想成是一个仅由非实体的光所构成的大球。

直到牛顿时代才知道，太阳不仅比地球大，它的质量也远超过地球。同时还知道，地球精确地沿一定的轨道绕太阳运行，是因为地球受到太阳的强大的引力场的影响。我们现在知道，太阳距离地球 1.5×10^8 公里，直径 1 392 000 公里，是地球直径的 110 倍。它的质量是地球的 33 万倍，也是太阳系所有行星物质总和的 745 倍。换句话说，太阳占有太阳系中 99.86%的物质，是这个系统中压倒一切的首领。

然而我们不应当过分注重它的大小；其实它并不是一个完美的天体——如果我们像中世纪的学者们那样，把完美定义为亮度均匀和毫无斑点的话。

在 1610 年将近年底的时候，伽利略用他的望远镜在黄昏的雾霭中观察太阳，结果每天都在日轮上看到深色的黑子。根据这些

黑子横过太阳表面稳定前进,以及它们在接近太阳边缘的过程中缩短的情形,伽利略断定,这些黑子是太阳表面的一部分,同时推断,太阳在略多于25个地球日的时间内绕自己的轴自转一周。

当然,伽利略的发现遭到强烈的反对;因为根据古老的观念,这简直就是对神明的亵渎。德国天文学家席纳尔也观察到了这些黑子,不过他认为,这些黑子并不是太阳的一部分,而是一些绕太阳旋转的小天体,只不过在明亮的日轮的衬托下显得较为黑暗而已。但是伽利略获得了这场争辩的胜利。

1747年,苏格兰天文学家威尔逊在靠近太阳边缘的地方看到了一个太阳黑子,当从侧面看的时候,有些内凹,仿佛是太阳上的一个火山口。这一点在1795年被W.赫歇耳所采纳。W.赫歇耳认为,太阳是一个既黑暗又寒冷的天体,被一层燃烧着的气体包围着。按照这一观点,太阳黑子则是一些洞,透过这些洞可以看到里面那个寒冷的天体。W.赫歇尔猜测,那个寒冷的天体上可能有一些有生命的东西居住着。(请注意,优秀的科学家也会提出一些鲁莽的理论,这些理论在当时的知识背景之下,似乎是合理的,但是随着日后更多证据的累积,终于被证明原来是非常荒唐的错误。)

实际上,太阳黑子并不真正是黑色的。它们是太阳表面上一些比较冷的区域,所以看上去显得比较暗。然而,如果水星或金星运行到地球和太阳之间的话,都会在日轮上显出一个真正的小黑圆圈。如果这个圆圈移动到一个太阳黑子附近,人们就会发现太阳黑子其实并不真正是黑色的。

然而即使是完全错误的观点也会有用,因为W.赫歇耳的看法使人们增加了对太阳黑子的兴趣。

癖好天文学的德国药剂师施瓦贝在这个问题上却有了真正的突破。由于他白天整天工作,无法晚上熬夜来看星星,便设法给自己找一件白天能做的事,最后决定观察日轮,寻找接近太阳的行

星,行星从太阳前面经过,可以证实这些行星的存在。

1825年,他开始观察太阳,因而经常看到太阳黑子。过了一段时间以后,他把行星的事丢到了脑后而开始描绘这些每天都改变位置和形状的太阳黑子。只要不是全阴天,他就天天观察太阳,一直坚持了17年之久。

到了1843年,他非常有把握地宣称,这些太阳黑子并不是随意出现的,而是有一个周期。年复一年,太阳黑子愈来愈多,一直达到一个顶峰;然后数量逐渐减少,直到几乎没有;于是一个新的周期再度开始。我们现在知道,这个周期有点不规则,但平均起来大约是11年。施瓦贝的发现并没有受到重视(毕竟,他只是个药剂师),直到著名的科学家洪堡1851年在他的一部科学著作《**宇宙**》中提到这个周期之后,才为人们所接受。

此时,苏格兰血统的德国天文学家拉蒙特在测量地球的磁场强度。他发现地球磁场的强度有规律地上升和下降。1852年,美国物理学家赛宾指出,这个周期与太阳黑子的周期时间相合。

这样看来,太阳黑子对地球有影响,因而人们开始怀着浓厚的兴趣研究太阳黑子。每年都根据一个公式给出一个**苏黎世太阳黑子数**,这个公式是在苏黎世工作的瑞士天文学家沃尔夫1849年首先提出的。(他还率先指出,极光发生率的升降也与太阳黑子的周期合拍。)

太阳黑子似乎与太阳的磁场有关,并且似乎出现在磁力线的出射点上。1908年,在发现太阳黑子3个世纪之后,海耳探测到一个与太阳黑子相联系的强力磁场。太阳的磁场为什么会有那些表现,为什么会在不固定的时间和地点出现在太阳表面上,为什么其强度会随着某些不规则的周期而增减?这些问题到目前为止仍属于未能解决的太阳之谜。

1893年,美国天文学家蒙德为了建立伽利略发现太阳黑子后

的第一个世纪中太阳黑子周期的资料,检查了所有早期的报告。他惊讶地发现,在1645年—1715年竟然没有有关太阳黑子的报告。诸如J.D.卡西尼等重要天文学家都寻找过太阳黑子,并对他们一个黑子也没有找到的事发表过评论。蒙德1894年将此发现予以公布,1922年再次公布,但是,他的工作没有受到重视。太阳黑子的周期已经被证实得如此充分,以致要说有一段70年的时间几乎没有太阳黑子出现,这似乎是难以令人相信的。

20世纪70年代,美国天文学家埃迪无意中发现了这份报告,经仔细检查,发现的确有所谓的**蒙德极小期**。他不仅重复了蒙德的研究,而且调查了从包括远东在内的许多地区收集来的用肉眼观测到的特大太阳黑子的报告——这些都是蒙德未得到的资料。这些纪录追溯到公元前5世纪,通常每个世纪有5~10次的观测记录。在这中间也有间断,其中一次间断跨越了蒙德极小期。

埃迪还检查了关于极光的报告。极光的频率和强度以太阳黑子的周期升降。结果表明,1715年以后这种报告很多,1645年以前也不少,但是在1645年—1715年却一份也没有。

再者,当太阳磁场活跃并有许多太阳黑子时,日冕会充满日冕射线而显得非常美丽。当缺乏太阳黑子时,日冕看起来像是毫无特色的烟雾。日冕在日食时可以看到;尽管在17世纪天文学家很少旅行去观察日食,但是,在蒙德极小期期间同样存在着日食报告,这样的报告讲的一律都是没有或很少有太阳黑子时的那一类日冕。

最后,在黑子极大期之时,会发生一连串的事件,使碳-14的产量比平常低。因此,可以分析树木年轮中碳-14的含量,以碳-14含量的升降来判断太阳黑子的极大期或极小期。这种分析也证明了蒙德极小期的存在,实际上,在更早的一些世纪中已有许多个蒙德极小期。

埃迪的报告指出，在最近的5000年内大约有12个周期，而每次蒙德极小期持续的时间从50年～200年不等。例如，在1400年—1510年就有一个蒙德极小期。

既然太阳黑子的周期对地球有影响，我们或许会问，蒙德极小期对地球有什么影响？这个影响可以说与冷期有关。在17世纪的第一个10年当中，欧洲的冬天非常寒冷，以致被称为小冰河时期。在1400—1510年的蒙德极小期期间也很寒冷，当时格陵兰岛上的挪威移民都消失了，因为天气冷得简直无法生存。

月 球

当1543年哥白尼把太阳放在太阳系的中心以后，地球的忠实跟随者仅剩下月球了。过去长久以来，地球一直被认为是太阳系的中心。

月球每27.32天绕地球一周(相对于恒星而言)。它也以同样的时间绕自己的轴自转一周。由于公转和自转周期相同，导致它永远以同一面对着地球。这个公转和自转周期的相等并不是一个巧合，而是地球对月球有潮汐作用的结果，这一点我将在下面解释。

月球相对于恒星的公转我们称为**恒星月**。然而当月球绕地球公转时，地球也绕着太阳公转。这样当月球绕地球一周时，由于地球的运动带着月亮一起运动，所以太阳在天空的位置也略有移动。月球必须再公转两天半的时间才能赶上太阳，回到和以前相同的相对与太阳的位置。月球相对于太阳绕地球公转称为**朔望月**，朔望月是29.35天。

对人类而言，朔望月远比恒星月重要得多，因为在月球绕地球公转的过程中，日光照射到我们所看见的月面上的入射角会经历

稳定的变化,而这个角度决定于月球相对于太阳的公转。月球要经历接连发生的**月相**。在一个月的开头,月亮正好位于太阳的东边,只有日落以后才能看到一弯细细的娥眉月。

夜复一夜,月球行离太阳愈来愈远,娥眉月也愈来愈粗,终于,月球明亮的部分变成了半个圆,之后,它超过了半圆。当月球运行到正好与太阳相对的天空位置时,太阳光便通过地球的"肩膀"(打个比方)照亮我们可以看到的整个月面:这个明亮的圆月面称为**满月(望)**。

之后,黑影从娥眉月出现的地方侵入月球。夜复一夜,月球明亮的部分逐渐减少,直到再次成为半圆,但明亮部分和上次的半圆相反。最后,我们只能在破晓时看到一弯娥眉月出现在太阳的西边,但弯钩的方向却和月初的娥眉月相反。然后月球通过太阳,再度在夕阳之后以娥眉月出现,整个变化又重新开始。

月相变化的整个周期持续 29.5 天,正好是朔望月的时间,构成了人类最早历法的基础。

人类当初以为月球随着月相的变化,真的是在盈、亏、生、死。甚至有人认为,每次在日落后出现于西方天空的娥眉月确确实实是一个新的月球,直到今天人们仍称之为**新月**。

然而,古希腊的天文学家认识到,月球一定是一个球;由于只能反射太阳光而发光,所以才会有月相变化;而月球在天空中相对于太阳的位置变化恰恰正是发生月相的原因。这是一个十分重要的事实。希腊哲学家,特别是亚里士多德,企图证明地球的性质和其他天体共有的性质全然不同,以此把地球和其他天体区分开来。于是,他们提出,地球是黑暗的并且不发光,而所有其他的天体都发光。亚里士多德认为,天体是由一种他称为**以太**(源自希腊语"发光")的物质构成的,这种物质与构成地球的物质根本不同。然而月球的月相周期表明,月球和地球一样自身不发光,只是因为反

射太阳光才发亮。所以,月球至少在这一点上和地球是相同的。

此外,有时太阳和月球正巧位于地球的两边,太阳光被地球挡住而无法到达月球,于是月球便通过地球的阴影而发生月食;月食总是发生在满月的时候。

在远古时代,人们认为,月食是月球被某种邪恶势力所吞噬,会永远完全消失。这曾经被看成是一种可怕的现象;而科学的一项早期成果,就是能够预报月食,并证明这是一种很容易解释明白的自然现象。(有人认为,英国索尔兹伯里平原上的史前巨石阵就是远古石器时代的天文台,可以根据太阳和月亮相对于这一结构中规则排列的石柱的位置变化,来预报月食的来临。)

事实上,当月球是娥眉月时,有时可以看到以微红的光勾画出来的月球其余部分的暗淡轮廓。伽利略认为,地球和月球一样,一定也反射太阳光而发亮,而月球上没被太阳照到的部分会被地球光朦胧地照亮。只有当能够被看到的受太阳照射的部分非常小,小到它的光不至于淹没掉暗淡得多的地光时,才能看到这种情景。所以,不仅月球像地球一样不发光,地球也像月球一样反射太阳光,并和月球一样出现位相变化(如果从月球上来看的话)。

地球和其他天体之间另一个想象的根本差异是:地球是有瑕疵的、不完美的、不断变化的,而其他天体则是完美无缺的、永恒不变的。

天上的星球中,只有太阳和月球在人的肉眼看来不是光点。在这两者之中,太阳看上去是一个完美的光圆,而月球——即使不考虑它的月相变化——是不完美的。在满月的时候,月亮看来似乎是一个非常完美的光盘,然而很明显它并不完美。在它柔和的光面上有许多污迹,它们损害了完美的观念。远古的人类把这些污迹当作绘画的题材,每种文化所画出来的图画都不一样。人类的自负使得人们把这些污迹看成是一幅人的图画,至今我们仍然

说到“月球上的人”。

1609年,伽利略首次用望远镜观察天空,当他将镜头指向月球时,看到了高山、环形山和平原,最终证明月球并不是一个完美的天体,它与地球十分不同,但却是一个和地球类似的世界。

但是,这项认识本身并没有完全推翻古老的想法。希腊人注意到,在通常情况下,天空中有几个天体稳定地改变着相对于恒星的位置,其中月球改变得最快。他们认为,这是因为月球距离地球比其他天体近的缘故(这一点希腊人是对的)。有人可能会争辩说,因为月球靠近地球,所以多少会受到地球不完美的污染,月球受了近邻之害。直到伽利略发现太阳黑子后,完美天体的想法才真正被打碎。

测量月球

如果月球是最接近地球的天体,它有多近呢?在企图确定这个距离的古希腊天文学家中,喜帕恰斯基本上得出了正确的答案。现在知道月球离地球的平均距离是384 401.377公里,大约是地球周长的9.6倍。

如果月球的轨道是圆的,那么它和地球之间会总是这个距离。然而月球的轨道有点椭圆,而且地球并不在椭圆的中心,而是在中心以外的一个焦点上,所以月球在近乎一半的轨道上略接近地球,而在另一半轨道上则略远离地球。最接近地球的地方称为**近地点**,距离地球356 400公里;离地球最远的地方称为**远地点**,距离为406 600公里。

如同希腊人猜测的那样,月球是所有天体中最接近地球的天体。即使我们不管恒星而只考虑太阳系,那么相对来说月球也是在我们的后院。

月球的直径从它的距离和视大小来判断,大约是3 480公里,

地球的直径是它的3.65倍,太阳的直径则是它的412倍。碰巧太阳到地球的距离大约是月球到地球平均距离的390倍,所以距离和直径的差异几乎抵消,使这两个实际大小相差很大的天体在天空中看起来却差不多大。由于这个缘故,当月球运行到太阳正前方时,这个小而近的天体几乎可以完全遮掩住大而远的太阳,使日全食成为壮丽的奇观。这是一个惊人的巧合,它对我们有益。

到月球上去

月球离地球如此之近,在天空中的形象又是如此地突出,所以长久以来一直激励着人们的想像力。是不是有方法到月球上去呢?人们可能也想到太阳上去,但太阳明显的又高又热使这些人泄了气。月球不仅近得多,而且温和得多,显然是一个比较理想的目标。

在早些时候,人们似乎并不认为到月球上去是一件无法完成的工作,因为那时候人们认为大气延伸到所有的天体,所以任何能把你带到空中的东西,在极端的情况下有可能会把你带到月球上去。

因此,在2世纪时,叙利亚作家卢奇安写了我们所知道的第一个空间旅行的故事。故事中说,一艘船遇上龙卷风,船被龙卷风卷起的水柱顶上了云霄,高得可以到达月球。

接着1638年,出现了一本名为《**月中人**》的书,作者是英国牧师戈德温(在这本书出版之前作者就去世了)。书中的主人公乘着由大鹅拉的马车到了月球;这些大鹅每年都要移栖到月球上去。

然而1643年,空气压力的性质逐渐为人们所了解,人们立刻发现,地球的大气不可能延伸到地球表面几公里以外的地方。地球和月球之间的空间大部分是真空,水柱无法穿透,大鹅也不能飞行。到月球去的问题突然变得难以解决,但仍然不是毫无办法。

1650年,出现了一本叫做《**到月球去旅行**》的书,是法国作家西拉诺·德·贝热拉写的,这本书是在作者死后才出版的。西拉诺·德·贝热拉在书中列出7种可能到达月球的方法,其中6种因种种理由发现是完全错误的。但他的第七种方法是利用火箭。火箭的确是那时(或现在,就此而言)所知道的可以穿越真空的惟一方法。

然而直到1687年,人们才明白了火箭的原理。那年,牛顿出版了他的巨著《**自然哲学的数学原理**》,其中列出了他的运动三定律。第三定律就是尽人皆知的作用与反作用定律:当一个力作用在某个方向时,在另一个方向上会产生一个大小相等、方向相反的力。因此,如果一枚火箭往某方向喷出大量物质的话,火箭的其余部分会往另一个方向运动,无论在空气中还是在真空中都是这样。实际上,在真空中会运动得更轻松,因为没有空气阻抗运动。(人们通常认为,火箭需要某个东西来推它,这种看法是错误的。)

火箭技术

火箭并不只是理论上的事物。早在西拉诺·德·贝热拉把它写下来以及牛顿把它理论化之前的几个世纪中,它就存在了。

中国人早在13世纪就发明并利用小火箭来进行心理战——唬唬敌人,而现代的西方文明则是将火箭当作杀人的武器。18世纪80年代,印度军队曾使用火箭来抵抗英军,英国大炮专家康格里夫由此在东方学到了火箭的秘诀。1801年他设计了许多致命的飞弹。有些飞弹在1812年战争中被用来和美国作战,其中著名的一次是1814年麦克亨利堡大轰击,这次大轰击激发弗朗西斯·司各特·基写了《**星条旗**》,歌颂"火箭的眩目红光"。但是当传统大炮在射程、准确性和威力方面获得改进之后,火箭就一蹶不振。然而在第二次世界大战中发展起来的火箭炮(美国的火箭筒和苏联的喀秋莎),基本上是利用火箭推进的炸药包。另外,喷气式飞机

也是利用火箭的作用和反作用原理，只是规模大得多。

大约在20世纪开始的时候，有两个人不约而同地想到了一种新的更好的利用火箭的用途——探测高层大气及空间。他们分别是俄国的齐奥尔科夫斯基和美国的戈达德。（富有想像力的德国发明家赫尔曼·甘斯温特在当时也提出过甚至更加雄心勃勃但不太系统、不太科学的构想，所以，考虑到后来的发展，说一个俄国人和一个美国人是火箭时代的第一批先驱，这的确是很奇怪的。）

齐奥尔科夫斯基在1903—1913年之间首先出版了他的推测和计算；戈达德则直到1919年才出版。但戈达德却是第一位将推测付诸实际行动的人。1926年3月16日，在马萨诸塞州奥本一个冰雪覆盖的农场里，戈达德发射了一枚火箭，升入空中60米（200英尺）。值得注意的是，他的火箭是由液体燃料助推，而不是火药。普通的火箭、火箭炮和喷气式飞机等都是利用周围空气中的氧，而戈达德的火箭当时就是为在外层空间工作而设计的，所以必须携带液态氧作为氧化剂。

凡尔纳在他19世纪的科幻小说中，曾设想以大炮作为去月球旅行用的发射装置。但是，大炮在发射时就把全部力量一下子用完了，而此时正是大气最稠密、阻力最大的时候。不仅如此，宇宙飞船在起飞的时候就得到它所需要的全部加速度，这种加速度大得足以把宇宙飞船内的任何人压得粉身碎骨。

戈达德的火箭在一开始慢慢地上升，逐渐增加速度，在大气稀薄、阻力微小的高空使用它最后的冲力。速度的逐渐增加就是把加速度保持在能够承受的水平，这一点对于载人的宇宙飞船是非常重要的。

遗憾的是，戈达德的成就几乎没有得到任何重视，只有他那生气的邻居一直想把他赶到别处去做实验。于是戈达德便将火箭发射场移到一个更隐秘的地方。在1930—1935年之间，他的火箭达

到了每小时885公里(550英里)的速度,高度达2.5公里(1.5英里)。他研制出了控制火箭飞行的系统和使火箭保持正确航向的陀螺仪。戈达德也申请到多节火箭的专利。由于多节火箭每一节都甩掉部分原始重量,同时新的一节从上一节得到的速度开始加速,因此起始速度一节比一节高,所以,一枚多节火箭与一枚载有同量燃料的单节火箭相比,得到的速度要大得多。

第二次世界大战期间,美国海军不认真支持戈达德做更深入的实验。就在这时候,德国政府使用了一批起初受过奥伯特鼓舞的年轻人作为它的特种部队,在火箭研究方面做了很大的努力。奥伯特是一位罗马尼亚的数学家,曾在1923年写了一些关于火箭和宇宙飞船的作品,这些作品与齐奥尔科夫斯基和戈达德毫无关系。德国的研究开始于1935年,终于发展出V-2火箭。在火箭专家冯·布劳恩(第二次世界大战之后,他把他的才能交给了美国来支配)的指导下,1942年发射了第一枚真正的火箭飞弹。V-2在1944年投入战场。尽管总共发射了4300枚,并且有1230枚击中伦敦,但已无法使纳粹获得这场战争的胜利。冯·布劳恩的火箭杀死了2511名英国人,重伤5869人。

1945年8月10日,几乎就在第二次世界大战结束的同一天,正好在戈达德最后看到他的火花烧成熊熊火焰的时候,他死了。由于受到V-2成功的刺激,美国和苏联都全力网罗德国的火箭专家投入火箭的研究。

起初,美国用掳获的V-2火箭研究高层大气,到1952年,这些库存火箭用完了。而在那时,美国和苏联都已经建造了更大更先进的火箭助推器。火箭技术在继续发展。

探测月球

一个新纪元开始了!1957年10月4日(在纪念齐奥尔科夫

斯基百年诞辰的那个月内)苏联把第一颗人造卫星(**卫星1号**)送入轨道。**卫星1号**以椭圆轨道绕地球运行,在近地点时,位于地球表面上方251公里(156英里),或者说距离地球中心6 600公里(4 100英里);在远地点时,则远离地球900公里(560英里)。椭圆轨道有点像公园中游玩用的滑行铁道场。从远地点到近地点的运行中,我们可以说人造卫星是滑下坡,因而失去引力势,速度增加,使人造卫星在近地点时能以最高速度再度开始上坡,就像滑行铁道的作用一样。在上坡时,人造卫星速度降低,并且在远地点达到最低速度,然后再次下滑。

卫星1号在近地点通过稀疏的高层大气。那里的空气阻力虽然很小,却足以使人造地球卫星每次旅行的速度略有降低。每次绕行都无法达到上一次远地点的高度。渐渐地,它像螺旋一般向内行进。最后,因失去能量太多,被地球的强大拉力拉进稠密的大气,而给空气的摩擦燃烧掉。

人造卫星的轨道以这种方式衰退的速度取决于人造卫星的质量、形状和所通过的空气密度。因此,我们可以计算出那个高度的大气密度。人造卫星使我们首次能够直接测量高层大气的密度。结果证明高层大气的密度比想象的要高,但是,举例来说,在240公里的高度,大气密度仍然只有海平面的10^{-7},在360公里的高度则只有海平面的10^{-9}。

然而这些十分稀薄的空气却不可忽视,即使在1 600公里的高空,大气密度只有海平面的10^{-14},但这个密度却是外层空间的10亿倍。地球的大气层向外扩散得非常远。

在这个领域,苏联并未独占下去,在不到4个月的时间里,美国也加入进来。1958年1月30日,第一颗美国人造卫星**探险者1号**送入了轨道。

人造卫星一被送入地球轨道,人们的眼睛就更热切地转向月

球。诚然,月球已经失去了一部分魅力,因为虽然人们认识到它是一个世界,而不仅仅是天空中的一个发光体,但它已不再是早些时候人们所想象的那个世界了。

在伽利略的望远镜出现之前,人们总是认为,如果天体是一个世界的话,必然会充满生物,甚至会有像人类一样聪明的生物。早期的科幻小说对月球作了这样的假设,以后的科幻小说也是如此,直到20世纪。

1835年,一位名叫洛克的英国作家为《纽约太阳报》撰写了一系列的文章,主要是描述对月球表面的严肃的科学研究,说在月球表面发现了许多种生物。这些描述非常详细,很快就为许多人所深信。

然而在伽利略用他的望远镜观察月球后不久,即发现月球上显然不会有生命存在。月球表面从来不曾被云或雾遮掩过,明暗两半球间的分界线总是那么清晰,因而没有可以察觉到的曙暮光。月球表面暗色的“海”,伽利略曾以为是一片片的水,后来发现其上散布着一群小的环形山,充其量这些“海”只是相对平坦的沙地而已。事情很快就清楚了,月球并不含任何水及空气,因此没有生命。

然而,这样匆匆地下结论或许太草率了。人们始终看不到的月球背面,其情况又是怎样的呢?会不会在背面有少许的水分,虽然不能养活大的生物,但却足以养活类似细菌之类的东西呢?或者,如果根本没有生命,会不会在土壤中有一些能够表示一种缓慢而可能夭折了的向着生命演化的化学物质呢?即使这些都没有,对月球仍有一些与生命无关的问题需要回答。月球是在哪里形成的?它的矿物结构如何?它有多大年龄?

所以,在**卫星1号**发射之后不久,这项新技术就开始用来探测月球。第一枚成功的月球探测器,即第一颗近距离通过月球的人

造卫星，在1959年1月2日由苏联发射升空。它就是**月球1号**，第一个环绕太阳运行的人造物。不到两个月，美国也取得了同样的成就。

1959年9月12日，苏联发射了**月球2号**，目的是让它击中月球。这是人类有史以来第一次把人造物降落在另一个世界的表面。接着一个月后，苏联人造卫星**月球3号**在月球上方滑行，并且将电视摄影机朝向我们在地球上永远看不到的月球背面，从月球表面上方64 000公里之处传送回来40分钟月球背面的图像。画面模糊不清而且质量很差，不过显示了一些有趣的东西。月球的背面几乎没有正面那样明显的"海"。为什么会有这种不对称还不大清楚。不过根据科学家的推测，"海"的形成在月球历史上可能相当晚，这个时候月球已经永远以同一面向着地球，而大流星受地球重力的影响，偏向月球朝着地球的那一面，造成了月球上的"海"。

但是探测月球只是刚刚开始。1964年，美国发射了一枚月球探测器**徘徊者7号**，目的是撞击月球表面，并在接近月球时拍摄照片。1964年7月31日，它圆满地完成了任务，在一处现在叫做已知海的地方拍了4 316张照片。1965年初，**徘徊者8号**和**徘徊者9号**取得了更大的成功。这些月球探测器查明，月球表面非常坚硬，并不像某些天文学家所猜测的那样，上面覆盖着一层厚灰尘。这些探测器还表明，即使在望远镜中看起来非常平坦的地方，实际上也布满环形山，这些环形山太小，在地球上无法看到。

苏联的探测器**月球9号**1966年2月3日成功地完成了一次不造成任何破坏的软着陆。1966年4月3日，苏联将**月球10号**送入每3小时绕月球一周的轨道。它测量了月球表面的放射性，图像表面，月球表面的岩石和地球海底下的玄武岩相似。

美国的火箭专家以更为精巧的火箭技术沿着这个开端前进。

1966年6月1日,美国的**探测者1号**在月球上首次软着陆。1967年9月,**探测者5号**在地球上的无线电遥控下处理和分析了月球上的土壤,证明的确类似玄武岩,而且含有可能是出自流星的铁的微粒。

1966年8月10日,美国发射了第一枚月球轨道环行器。这枚月球轨道环行器对月球的各个部分都作了详细的拍照,使人们非常详尽地了解到月球表面各个地方(包括地球上永远看不到的那一面)的特征。此外,还拍摄了一些令人吃惊的从月球上所看到的地球的照片。

顺便说一下,月面环形山过去是以天文学家和其他伟人的名字来命名的。因为大部分的名字都是由意大利天文学家里乔利1650年左右决定的,所以较大的环形山以希腊天文学家亚里士多德、阿基米得及托勒玫和老天文学家哥白尼、第谷和开普勒命名。

由**月球3号**首先揭示出来的月球背面则提供了一些新的命名机会。其中一些注目的特征都被俄国人抢先占有,这也是他们的权利。他们不仅以齐奥尔科夫斯基这位伟大的空间旅行的预言家来命名,而且还以18世纪后期的两名化学家罗蒙诺索夫和波波夫来命名。他们也用环形山来表彰西方的名人,如麦克斯韦、赫兹、爱迪生、巴斯德和居里夫妇,这些人都在本书中提到过。另外,在月球背面还有一个非常相称的名字,就是法国科幻小说先驱作家凡尔纳。

1970年,人们对月球的另一面已经了解得非常清楚,所以能够对其特征系统地加以命名。在美国天文学家门泽尔的领导下,一个国际组织确定了数以百计的名字来纪念过去以各种方式对科学发展作出贡献的伟人。非常突出的环形山分给了诸如门捷列夫(第一个研究出元素周期表的人,我将在第六章中讨论他)和加加林(第一个进入绕地球轨道运行的人,后来在一次飞机失事中死

亡)那样的俄罗斯人。另一些突出特征用来纪念荷兰天文学家赫茨普龙、法国数学家伽罗瓦、意大利物理学家费密、美国数学家维纳和英国物理学家科克罗夫特。在一个限定的区域内,我们可以找到能斯脱、伦琴、洛伦兹、莫塞莱、爱因斯坦、玻尔和道尔顿,所有这些人在发展原子理论和亚原子结构方面都起了非常重要的作用。

由于对科学著作和科幻小说的喜好,门泽尔决定将几个环形山分配给一些人,他们在正统科学把空间飞行视为妄想而不予理睬的时候,却帮助激发起整整一代人对空间飞行的热情。为此有一个环形山被用来纪念根斯巴克,他出版了美国第一本全部登载科幻小说的杂志;另一个环形山则用来纪念威利·莱,在所有作家当中,他是最不屈不挠地精确描述火箭的潜力及其成就的人。

宇航员和月球

然而不载人的月球探险,无论多么地精彩和成功,也还是不够的。难道人就不能和火箭做伴吗?实际上,在**卫星1号**发射后,仅用了3年半的时间,人们就朝着这个方向迈出了第一步。

1961年4月12日,苏联宇航员加加林被射入轨道而且安全返回地面。3个月后的8月6日,另一位苏联宇航员季托夫绕地球17圈才着陆,自由飞行了24小时。1962年的2月20日,美国把它的第一位宇航员格伦送入轨道,绕地球3圈。此后,许多人离开过地球,有的甚至留在空间达数月之久。1963年6月16日,苏联的一位女宇航员捷列什科娃被射入轨道,自由飞行71小时,共绕地球17圈。1983年,赖德成为美国第一位被送入轨道的女宇航员。

火箭也曾一次载2~3人离开地球。第一次是在1964年10月12日,载有苏联宇航员科马罗夫、费奥克季斯托夫和叶哥罗夫。

美国则在1965年3月23日首次发射载有多人的火箭，上有格里索姆和J.W.扬。

1965年3月18日，苏联宇航员列昂诺夫成了第一位在空间离开宇宙飞船的人。1965年6月3日，美国航天员怀特也做了**空间行走**。

虽然在1965年之前苏联取得了大部分的空间"第一"，但是美国却后来居上。载人航天器在空间进行演习、会合和对接，并且开始飞向越来越远的地方。

然而，在航天计划的进行中也有灾难发生。1967年1月，三位美国宇航员格里索姆、怀特和查菲在一次例行测试中因航天舱起火而丧生于地面。之后1967年4月23日，科马罗夫在返回地面时因降落伞缠结而殉难。他是第一位在航天飞行中死亡的人。

由于这些灾难，美国重新设计了航天舱，使之更为安全，因而推迟了使用三人宇宙飞船登月的阿波罗计划，但是这个计划并没有被放弃。第一艘载人的阿波罗宇宙飞船**阿波罗7号**，于1968年10月11日发射，载有3名宇航员，以拉希为指令长。**阿波罗8号**于1968年12月21日发射，在博尔曼的指挥下接近月球，以相当近的距离环绕月球。1969年5月18日发射的**阿波罗10号**也接近月球，并把一枚登月舱送到离月球表面14.5公里(9英里)的地方。

终于，1969年7月16日，**阿波罗11号**在N.A.阿姆斯特朗的指挥下发射了。7月20日，阿姆斯特朗成为第一位站在另一个世界土地上的人。

从那次以后又发射了6艘阿波罗宇宙飞船。其中有5艘——**12、14、15、16、17**号——非常成功地完成了它们的任务。**阿波罗13号**因在空间发生了故障被迫返回，没有在月球着陆，不过它安全地返回了地球，无人丧生。

苏联的航天计划中还没有包括载人到月球的飞行，但是1970年9月12日，往月球上发射了一艘不载人的宇宙飞船。这艘飞船在月球上安全地软着陆，采集了一些土壤和岩石的标本，然后把这些标本平安地带回了地球。在这之后，苏联一艘自动宇宙飞船在月球上着陆，从地球上遥控着在月球上移动了几个月，不断地把资料送回地球。

从对月岩（载人的或不载人的登月所带回的）的研究中，得到一项惹人注目的结果，就是月球似乎完全是死的。月球表面好像一直曝露在高热之下，因为上面覆盖着一层像玻璃一样的东西，看来可能是表面岩石被熔化的结果。没有任何水的痕迹，也没有迹象表明月面下面可能存在水或过去可能存在水。那里没有任何生命，甚至没有任何可能与生命有关的化学物质的迹象。

从1971年12月之后，再没有任何登月活动，目前也没有任何登月的计划。然而毫无疑问，人类的技术能够把人和机器在任何需要的时候放到月球表面，同时，航天计划在其他方面仍在进行。

金星和水星

在环绕太阳的行星中，有两个比地球更靠近太阳，它们就是金星和水星。地球至太阳的平均距离是 1.5×10^8 公里，金星是 1.08×10^8 公里，而水星是 0.58×10^8 公里。

因此我们总是在太阳的附近看到金星和水星。从地球上看，金星离太阳不会超过47°，而水星离太阳永远不会超过28°。当金星或水星在太阳东边的时候，在傍晚日落后就出现在西方的天空，并在不久之后也落入地平线，因此被称为**昏星**。

当金星或水星位于其轨道的另一边，也就是在太阳西边的时候，则出现于黎明前的东方，而在太阳升起后即消失在太阳的光辉

中,因而被称为**晨星**。

起初,人们似乎自然而然地认为,两颗昏星和两颗晨星是四颗不同的星。但是,从观察中逐渐发现,当其中一颗昏星出现在天空时,相对的那颗晨星从不出现;反之亦然。人们开始觉得似乎只有两颗行星,每一颗都穿梭般地在太阳的两边来回移动,轮流扮演昏星和晨星的角色。第一位发表这个想法的是公元前6世纪的希腊人毕达哥拉斯,而他的这个想法可能是从巴比伦人那里学来的。

在这两颗行星中,观察金星比观察水星要容易得多。首先是它离地球比较近。当地球和金星在太阳的同一侧的时候,它们的距离可以近到只有4023万公里(2500万英里),因此金星到地球的距离仅是月球的100倍左右。除了月球之外,没有一个大的天体比金星更接近我们。当水星和地球位于太阳同一侧时,两者之间的平均距离是9200万公里(5700万英里)。

金星不仅比较靠近地球(至少,当两者在太阳的同一侧时),而且也是一个比较大的天体,能够接受比较多的阳光。金星的直径有12100公里,而水星只有4880公里。此外,金星有云,可以比水星反射更多的阳光;水星则没有大气,只能像月球一样以光秃的岩石来反射光。

结果金星的最大亮度是-4.22星等,这个亮度是天空中最亮的恒星——天狼星的12.6倍,除了太阳和月亮之外,的确是天上最亮的天体了。金星是如此之亮,在没有月亮的黑夜里,它能够投射出可以觉察到的阴影。水星的亮度只有-1.2星等,和天狼星差不多,但仍然只有金星最亮时的1/17。

因为水星离太阳很近,所以只有在天空尚有暮光或黎明的时候在地平线附近才能看到。因此,尽管它很亮,还是很难观察到。人们常说,哥白尼本人从未看见过水星。

金星和水星总是在太阳附近被发现,而且从太阳的一边到另

一边来回移动，这些事实自然地会使一些人猜想，这两颗行星绕太阳而不是绕地球运转。这个想法是由希腊天文学家赫拉克利德斯在公元前350年首先提出的，但没有被人们接受，直到19个世纪以后，哥白尼再度提出这个构想，不仅水星和金星，而且所有的行星都绕太阳运行。

如果哥白尼是正确的，如果金星是一个不透光的天体，只是像月球那样靠反射太阳光而发亮的话，那么，从地球上观察，金星应该和月亮一样有位相变化。1610年12月11日，伽利略从他的望远镜中观察金星，看到它的球面只有部分发亮。他不时地观察它，发现的确有和月亮一样的位相变化。这对以地球为中心的行星系统是最后的致命一击，因为这个系统无法解释实际观察到的金星的位相变化。最后天文学家也观察到了水星的位相变化。

测量金星和水星

金星和水星都很难用望远镜进行观察。由于水星离太阳那么近，体积那么小，离地球又那么遥远，所以很难辨认出它表面上的标志。然而意大利天文学家斯基帕雷利却一直在仔细地研究那些标志。根据那些标志随时间变化的方式，1889年他宣称，水星以88天的周期绕它的轴自转。

这个说法似乎有道理，因为水星绕太阳公转的周期也是88天。水星离太阳很近，足以被太阳的引力锁定，如同月球被地球锁定一样，使水星自转和公转的周期相同。

虽然金星比较大，而且离地球比较近，但是它更难观察，因为它永久地被一层厚而不散的云层所遮掩，呈现给所有观察家的是一片没有特征的白茫茫的景象。没有人知道它的自转周期，虽然有些人认为，金星可能也被太阳的引力锁定，所以自转周期和公转周期相同，都是224.7天。

由于运用雷达技术的发展,使这种状况有了改变。我们可以对物体发射微波束,然后再来测定被物体反射回来的微波束。在第二次世界大战期间,雷达被用来侦察飞机,而天体也能反射微波束。

举例来说,1946年,匈牙利科学家巴伊向月球发射的微波束被反射回来,他收到了回波。

然而,月球是一个比较容易达到的目标。1961年,三个不同的美国小组、一个英国小组和一个苏联小组,都成功地发射微波束到金星并收到回波。当时人们已经确知,这些波束以光速行进。从波束往返金星所用的时间,可以计算出金星的距离,这比到当时为止任何方式的测量都要准确。利用这种测量方式,太阳系中所有其他的距离都可以重新计算,因为当时这些行星的相对位置已经非常清楚。

此外,所有的天体只要不真正是(实际上没有任何天体是)绝对零度,就会持续地发射微波束,而根据波束的波长展开度便可以计算出发射天体的温度。

1962年,科学家探测到由水星的黑暗面(即未被太阳照射的那一部分)发射出来的微波。如果水星的自转周期真是88天,那么这个行星有一面会始终朝着太阳,因而会非常地热,而另一面则会永远背着太阳,因而非常地冷。然而,从它发射的微波的性质来看,水星黑暗面的温度比人们预想的高很多,因此,它必然在某些时候得到阳光。

当一束微波从一个旋转的天体上反射回来时,由于天体表面的运动,这一波束在反射中发生某些变化,而这种变化的性质使我们可以计算出运动表面的速度。1965年,从事微波束反射工作的两位美国电气工程师戴斯和佩滕吉尔发现,水星表面的转动比预想的要快:水星以59天的周期自转,所以水星表面的每一个部分

都会在某些时候曝露于阳光之下。

精确的自转周期被证实是 58.65 天,正好是公转周期 88 天的 2/3。这也表明它的确已被太阳的引力锁定,虽然比自转和公转周期相等的最终情况还差一点儿。

金星探测器

金星还有更多令人惊奇的事情。由于和地球差不多大(可以比较一下它们的直径,金星的直径是 12 100 公里,地球的直径是 12 756 公里),所以它常被视为地球的“孪生姊妹”。金星距离太阳相当近,但有一层云起保护作用,使它可能不至于太热。人们猜测,这一层云是由水滴组成的,因此金星本身有一个海洋,或许比地球的海洋还要宽广,因而可能有丰富的海洋生物。很多科幻小说(包括我写的一些)都提到这个水源充足和富有生命的行星。

1956 年传来了第一个惊人的消息。以 C.H.迈耶为首的美国天文学家小组,在研究由金星黑暗面发射的微波后得出结论,那一面的温度必然远远超过水的沸点。金星必定非常热,因此辐射非常高。

这个结论几乎无法使人相信,似乎需要一种比微弱的微波束更能打动人心的东西。既然能把火箭成功地发射到月球的附近,那么向各个行星发射探测器看来也是合乎逻辑的。

1962 年 8 月 27 日,美国成功地发射了第一枚金星探测器**水手 2 号**,上面载有能够探测和分析金星辐射的微波并把结果经由几千万公里的真空传回地球的仪器。

1962 年 12 月 14 日,**水手 2 号**通过了近 35 000 公里(22 000 英里)厚的金星云层。一切怀疑都消失了。从两极到赤道,从黑暗面到日照面,整个金星的表面都是地狱般的炎热。金星表面的温度约有 475℃,高过锡和铅的熔点以及水银的沸点。

1962年的成就不止于此。微波能够穿透云层。向金星发射的微波直接穿透云层到达金星的固体表面,然后反射回来。虽然人类靠光波看不见金星表面,然而这微波能够"看见"。1962年,从反射波束的畸变中,卡彭特和R.M.戈德斯坦发现,金星的自转周期大约是250个地球日。美国的物理学家夏皮罗后来的分析证明是243.09天。这样慢的自转并不是太阳引力锁定的结果,因为它的公转周期是224.7天。金星绕轴自转要比绕太阳公转慢。

此外,金星以"错误的方向"绕它的轴自转。如果想象从地球北极正上方高处的某一点观看的话,一般行星的旋转方向都是逆时针,但金星却是顺时针。到目前为止,对这种逆行仍然没有适当的解释。

每次金星最接近地球(下合)时,都正好自上次接近以后绕自己的轴逆转5周,因此,在最接近时,金星总是以同一面对着地球。显然,金星和地球被引力锁在了一起,但是地球似乎太小了,与金星之间的距离又是那么远,因而不会对金星有什么影响。

水手2号以后,美国和苏联又都发射了金星探测器。苏联设计的探测器可以穿透金星的大气层并用降落伞软着陆,但因金星的环境非常严酷,苏联的一系列**金星号探测器**进入金星大气层后均未存留多久,不过他们的确得到了一些有关金星大气的资料。

金星的大气浓密得惊人,大约是地球大气的90倍,主要由二氧化碳组成,这种气体在地球大气中占很小的一部分。金星的大气有96.6%的二氧化碳和3.2%的氮。(然而,尽管金星的大气那样浓密,它的总含氮量却只有地球的3倍左右。)

1978年5月20日,美国发射了**金星先驱者号**。**金星先驱者号**于1978年12月4日到达金星,进入环绕金星的轨道,并以相当近的距离通过金星的两极。随后,许多探测器离开**金星先驱者号**进入金星的大气,进一步确认并扩展了苏联金星号探测器所收集

的资料。

金星上的主云层大约有3公里厚,位于金星表面上方约50公里。云层由含大量硫的水组成,而在主云层的上方是一层具有腐蚀性的硫酸雾。

云层下面到金星表面上方32公里处,其间是霾层,而再往下,金星的大气似乎完全清澈透明。低层大气好像很稳定,没有风暴或任何天气的变化,到处都是难以置信的稳定的热。那里只有微风,但是以金星的空气密度来说,即使是微风也有相当于地球上飓风的力量。总之,人们很难想出另一个比地球的“孪生姊妹”更为糟糕的世界。

到达金星的阳光几乎全部被云层反射或吸收,但还是有3%到达清澈的低层大气,而可能有2.5%到达金星地面。考虑到金星离太阳比较近,可以首先得到比较明亮的阳光,因此,虽然有厚而永久的云层,金星表面得到的阳光仍相当于地球的1/6。和地球比起来,金星可能比较暗,但是,如果有办法在那里生存下来的话,我们仍能在金星表面上非常清楚地观看。

实际上,有一枚苏联探测器在金星表面登陆后拍摄了金星表面的照片。这些照片显示了金星表面散布的石头,边缘锐利,表明没有受到严重的腐蚀。

如果能够像用眼睛或照片探测和分析光波那样,用仪器来探测和分析反射回来的微波束,我们就可以利用发射到金星表面后反射回来的微波束“看见”金星的表面,就好像可以利用光波来看金星一样。微波比光波长得多,因而“看见”的东西更模糊,但总比什么也看不到要强。**金星先驱者号**利用微波绘出了金星表面的地形图。

金星大部分的表面看来像地球的陆地,而不像地球的海底。不过地球的陆地只占总面积的3/10,其余7/10为广大的海面;而

金星的超级大陆却占了总面积的5/6,剩下的1/6则是没有水的低地。

覆盖金星的超级大陆似乎相当平坦,有一些环形山的迹象,但是不多;浓密的大气可能早已把它们腐蚀光了。不过在超级大陆上也有些部分凸起,其中有两处面积很大。

在金星上相当于地球北极的地方,是一片和美国差不多大的大高原,称为伊什塔尔高地。在伊什塔尔高地的东部是麦克斯韦山脉,有些山峰比高原外的一般平面高出11.7公里(7.3英里)。这些山峰比地球上的任何山峰都要高。

在金星的赤道附近,另有一片更大的高原,叫做阿佛洛狄特高地。它的山脊没有伊什塔尔高地上的高。

很难说金星上有没有真火山,但有两座可能是火山,至少是死火山;其中瑞雅与[illegible]山延伸的地区有美国的新墨西哥州那么大。

水星探测器

水星的表面没有像金星那样的问题。水星没有大气,没有云层,只要送一枚水星探测器上去就行了。

1973年11月3日,**水手10号**发射了。它在1974年2月5日近距离地通过金星,从金星附近传回有用的资料,然后继续朝水星前进。

1974年3月29日,**水手10号**从离水星表面700公里(435英里)的地方通过,然后近入周期为176天的公转轨道,环绕太阳运行,其周期正好是两个水星年。这使它每次回到水星时都是在以前的同一地点,因为水手10号每绕太阳一圈,水星正好绕两圈。1974年9月21日,**水手10号**第二次经过水星;1975年3月6日,它第三次从水星上空330公里(203英里)处经过。此时,**水手10号**耗尽了使它保持稳定位置的气体,因此无法再对这颗行星作进

一步研究了。

在三次经过水星当中，**水手10号**对水星表面3/8的地区拍摄了照片，证明了水星的地形看上去与月球表面很相似，到处都是环形山，最大的一个直径达200公里(125英里)。然而，水星上很少有“海”；最大的一块环形山比较少的地方宽约1400公里(870英里)，称为卡路里(“热”)，因为当水星在**近日点**时，它几乎直接曝露在太阳照射之下。

水星也有很长的峭壁，大约有2.5公里高，160公里长。

火　　星

火星是从太阳数过来的第四颗行星，就在地球的外侧。火星离太阳的平均距离是2.28×10^8公里。当地球和火星在太阳的同一侧时，这两颗行星可以彼此接近到平均8050万公里(5000万英里)。由于火星的轨道偏心率较大，有时它和地球相离只有4830万公里(3000万英里)。这样的近距离接近(大冲)每32年发生一次。

如果我们以恒星为背景来观察，会发现太阳和月球从西方到东方位置的变化多少是稳定的，而行星的运动要复杂得多。在大部分的时间里，相对于恒星而言，它们总是夜复一夜地自西向东运行，但在某些时候，各个行星运行减速，最后完全停止，然后开始从东向西倒着运行。但这种**逆行**始终不如顺行，因此，总的来说每个行星还是自西向东运行，最终在天空中绕一整圈。逆行最大最显著的就是火星。

为什么会这样呢？以前以地球为中心的行星系统很难解释这种逆行现象，但以太阳为中心的哥白尼系统则很容易解释。地球以一个比火星更近的轨道环绕太阳，所以绕一圈所要走的距离比

较短。当地球和火星在太阳的同一侧时,地球赶上并超过火星,使火星**看起来好像**在往后走。只要把地球的轨道与任何其他行星的轨道加以比较,就可以解释所有的逆行现象,而这正是迫使人们相信以太阳为中心的行星系统的一个重要因素。

火星比地球离太阳远,所以得到的阳光不太强。火星是颗小的行星,直径只有6 790公里(比地球直径的一半略多一点),有一层非常稀薄的大气,因此把所得到的阳光反射出来的不太多。另一方面,它有一个比金星有利的条件。当金星最靠近地球时,介于我们和太阳之间,因此我们只能看到它的黑暗面。然而,当火星最接近地球时,却在我们的外侧,因为它距离太阳比较远,因此,我们看到的是火星明亮的一面,这就使它的亮度大为增加。在最亮的时候,火星可以达到-2.8星等,此时它是天空中第四个最亮度的天体,仅次于太阳、月亮和金星。然而,这种亮度每隔32年当火星大冲时才能达到。当它所在的那一部分轨道是在和我们相对的太阳的另一侧时,由于距离太远,使它只能像一颗具有适当亮度的恒星那么亮。

从1580年以来,丹麦天文学家第谷为了研究火星的运动并对它未来的位置作出更准确的估计,于是对火星进行了非常仔细的观察(他没有使用望远镜,因为当时尚未发明望远镜)。第谷死后,他的助手——德国天文学家开普勒——利用这些观测结果计算出了火星的轨道。开普勒发现,他必须抛弃两千多年来天文学家一直坚持的圆形轨道的观念。1609年,他证明行星必须在椭圆轨道上运行。开普勒的行星系统到今天为止仍然适用,而且毫无疑问,其基本精神将永远适用。

1673年,火星对探测太阳系作出了另一项重要贡献。当时J.D.卡西尼测定了火星的视差,使人们第一次知道了行星之间的真实距离。

由于有了望远镜，火星不再只是一个光点。惠更斯在 1659 年观察到一个黑暗的三角形标志，他命名为大流沙地带。通过追踪这个标志，他能够证明，火星以大约 24.5 小时的周期绕它的轴自转(如今的数据是 24.623 小时)。

因为比地球离太阳更远，火星有一个比较长的轨道，在太阳引力的吸引下运行得比较慢。它需要 668.61 个火星日才有公转一周，相当于 687 个地球日(1.88 个地球年)。

火星是我们所知道的惟一一颗其自转周期和地球这么接近的行星。不仅如此，1781 年，W. 赫歇耳还证明，火星自转轴的倾斜方式也和地球非常相似。地球的自转轴比垂直轴①倾斜了 23.45°，所以当北极倾向太阳时，北半球是春天和夏天，当北极倾离太阳时，北半球是秋天和冬天。南半球的季节则正好相反，因为当北极倾向太阳时，南极倾离太阳；反之亦然。

火星的自转轴比垂直轴倾斜了 25.17°，正如 W. 赫歇耳通过仔细观察所证明的那样，火星上的标志移动的方向与火星自转的方向相同。因此，火星和地球一样有四季的变化，只是它的每一个季节都是地球的两倍长，当然，也比较冷。

1784 年发现了另一个相似点，W. 赫歇耳注意到，火星的北极和南极都有冰冠。总的来说，火星比我们在天空中看到的其他任何一个世界都更像地球。跟月球和水星不同，火星有大气(W. 赫歇耳首先观察到的)，但不像金星大气那样厚，也并不充满了云。

火星和地球的相似点并没有延伸到卫星。地球有一个大卫星，就是月球，但是水星和金星却根本没有卫星。火星起初看来也没有卫星，至少在两个半世纪的望远镜观测中没有发现任何卫星。

然而 1877 年，当火星即将大冲时，美国天文学家 A. 霍尔决定

---

① 指垂直黄道面的轴，即黄极轴 ——译注

在火星附近寻找卫星的踪影。由于从未发现过,所以他以为,如果存在卫星的话,一定非常小,非常靠近火星,并很可能被火星的光芒所淹没。

他夜复一夜地观察着,到了1877年8月11日,他决定放弃。他的妻子斯蒂克尼鼓励他再多试一夜,结果在那多干的一夜里,他真的发现了两颗靠近火星的小卫星。他给它们分别命名为福玻斯和得伊摩斯①,也就是火卫一和火卫二。

两个卫星中,里面的是火卫一,距离火星中心只有9350公里(5810英里),换句话说,离火星表面只有6000公里(3700英里)。它每7.65小时绕轨道一圈,不到火星自转周期的1/3,所以当火卫一快速前进时,会不断地超过火星表面。因此,如果从火星上看,火卫一是西升东落。外面的是火卫二,距离火星中心23500公里(14600英里),大约30.3小时绕火星公转一圈。

由于这两个卫星太小,即使用最好的望远镜观察,也不过是个光点而已,所以在发现它们之后的1个世纪中,除了它们至火星的距离和公转周期外,其余的一无所知。从卫星的距离和运动状况,很容易算出火星引力场的强度,从而算出它的质量。结果表明火星的质量差不多正好是地球质量的1/10,而它的表面重力只有地球的3/8。一个在地球上重80公斤的人,到火星上将重30公斤。

然而,火星显然是一个比月球大的世界。火星的质量是月球的8.7倍,表面重力是2.25倍。粗略地说,在这些方面,火星大约是介于月球和地球之间。(金星和水星因为没有卫星,所以无法这

① 福玻斯和得伊摩斯是罗马神话中战神马耳斯(即希腊神话中的阿瑞斯)的两个儿子。火星的西方名称就叫马耳斯,故有此命名。今我国对各行星的卫星有统一的定名法则,将福玻斯和得伊摩斯定名为火卫一和火卫二。——译注

样容易地决定它们的质量。我们现在知道,金星的质量是地球的4/5,水星是地球的1/18。水星的质量大约只有火星的一半,因此,水星是8大行星中最小的1个。)

知道了一个星球的大小和质量,我们可以容易地算出它的密度。水星、金星和地球的密度都超过水的5倍,分别是5.48、5.25和5.52。如果这些星球都是由岩石构成的话,这些值比预估值要高,因此人们认为每个行星都含有1个金属核心(这个问题将在下一章中详细论述)。

月球的密度是水的3.34倍,因此可能完全都是由岩石物质构成的。火星居中,它的密度是水的3.93倍,所以可能有1个非常小的金属核心。

绘制火星图

天文学家想绘制火星图,描绘出火星表面上斑点的明暗图样,这是很自然的事情。对于月球来说,这项工作可以做得很好,但是对于火星就难办了。火星即使离我们最近时,与地球的距离也是月球的150倍,而且还有一层稀薄而暗淡的大气,这是月球所没有的。

然而,1830年,曾经详细绘制过月球图的德国天文学家比尔将注意力转移到火星。他绘制了第一张显示明暗图样的火星图。他假定黑暗区域是水,而明亮区域是陆地。问题是其他的天文学家也自己绘制火星图,各个天文学家所绘出来的图各不相同。

最成功的火星图绘制者是斯基帕雷利(就是后来将水星的自转周期误认为88天的那个人)。1877年,正当火星大冲,使霍尔得以发现它的两颗卫星时,斯基帕雷利绘制了一张图,它看上去与以前绘制的任何图都完全不一样,却得到了天文学家的认可。随着望远镜的不断改进,现在人们都看到了当年斯基帕雷利所看到

的景象,而这张新火星图持续了约一个世纪。斯基帕雷利分别以古希腊、罗马和埃及地理中的名字为火星上不同的地区命名。

在观察火星时,斯基帕雷利注意到,在大的黑暗区域之间,有细细的暗线连接,就好像是海峡连接着两个海一样。斯基帕雷利使用了一个意大利名词,把这些暗线叫做**海峡**,这个词译成英语时被误译成**运河**,使意思完全变了;海峡是一种自然现象,运河则是人造的。

斯基帕雷利的观察马上引起了人们对火星的新兴趣。长久以来,人们认为火星和地球十分相似,只是比地球小,引力场也比较弱。火星可能未能保持住它的大部分大气和大部分水,因此可能早已干涸了数百万年。火星上可能存在的任何智慧生物都必须战胜干燥才能生存。

人们很容易遐想,火星上不仅可能有智慧生物,而且他们可能有比我们还要先进的技术。火星人可能会开凿运河,从冰冠取水到温和的赤道附近的农场。

其他天文学家开始探测运河,其中最热心的是美国的洛威尔。他是一个大富翁,1894 年在亚利桑纳州建立了一座私人天文台。那里因为远离城市灯光,有数公里高洁净的沙漠空气,所以能见度非常好。洛威尔在那里开始绘制一张火星图,详细程度远远超过斯基帕雷利。最后,他绘出了 500 多条运河,同时还写了几本书,宣扬火星上有生命的想法。

1897 年,英国科幻小说作家威尔斯在一份畅销杂志上刊登了一部连载小说《**星际战争**》,进一步宣扬这种观点。很多人认为火星上有生命是当然的事情。1938 年 10 月 30 日,O.韦尔斯把《**星际战争**》改编成了广播剧,假设火星人在新泽西州登陆。由于非常逼真,以至有许多人以为这是真的新闻报导,而在恐惧中出逃。

尽管如此,许多天文学家都否认洛威尔的运河存在。他们看

不见那些运河。第一位描述太阳黑子极小期的蒙德也认为这些只是眼睛的错觉。1913 年,他立了几个圆环,再将一些模糊不清的不规则斑点放入圆环中,然后叫一些小学生站在相当远的距离,远到几乎很难看清圆圈里的东西。他要求学生们画下他们所看到的东西,结果他们画的都是和洛威尔运河非常相似的直线。

此外,直接的观察似乎也减少了火星和地球的相似性。1926 年,两位美国天文学家柯布伦茨和兰普兰德设法测量火星表面的温度,发现比预期的要冷。白天当火星位于近日点的时候,有迹象表明,其赤道可能相当温和,但是到了晚上,似乎到处都像南极大陆最冷时那样冷。白天和夜晚的温差如此大,看来火星的大气比想象的还要稀薄。

1947 年,荷兰血统的美国天文学家柯伊伯分析了从火星射来的光中的红外线部分,作出了火星大气主要是二氧化碳的结论。他找不到氮、氧和水蒸气的痕迹。因此似乎不大可能形成任何像地球上这样复杂的生物。然而,认为火星上有植被,甚至有火星运河,这种信念曾经长期困扰过人们,迟迟不消。

火星探测器

火箭升入地球大气及外层空间之后,人们又燃起了解决这个百年悬案的希望。

第一枚成功的火星探测器**水手 4 号**,于 1964 年 11 月 28 日发射。1965 年 7 月 14 日,**水手 4 号**通过火星上空 9 660 公里(6 000 英里)处,在通过的时候,连续拍摄了 20 张照片,并将之转变为无线电信号,传送回地球,然后再转变成照片。这些照片显示出,火星上只有环形山,没有任何运河的踪影。

当**水手 4 号**通过火星背面时,在它消失之前,它的无线电信号穿过火星的大气,表明火星的大气比原来人们想象的要稀薄;其密

度不到地球的 1/100。

更精巧的火星探测器**水手 6 号和水手 7 号**分别于 1969 年 2 月 24 日及 3 月 27 日发射。这两枚探测器通过火星上空 3200 公里(2000 英里)处,一共发回 200 张照片。火星表面的很多地方都被拍了照,这些照片表明,火星表面上有些区域像月球一样布满了环形山,有些区域则相当平坦,还有些区域非常地混乱。显然,火星有一个极其复杂的地质发展过程。

然而,任何地方都没有运河的踪影,大气中至少有 95% 的二氧化碳,温度甚至比柯布伦茨和兰普兰德所估计的还要低。在火星上存有智慧生物或任何复杂生物的一切希望似乎成了泡影。

但是仍然有很多工作要做。另一枚成功的火星探测器是 1971 年 5 月 30 日发射的**水手 9 号**。**水手 9 号**于 1971 年 11 月 13 日抵达火星,先进入轨道绕火星运行,而不直接穿越大气。幸亏没有直接通过,否则在它前往火星的半途中,将遇到一个行星般大小的尘暴,几个月之内,除了一片霾之外,照片上根本不会看到任何东西。在轨道上,探测器可以等待尘暴过去。到了 12 月,火星的大气明朗了,于是探测器展开工作。

水手 9 号清楚地绘制出火星全图,就如同绘制月球全图一样;于是,长达 1 个世纪的运河之谜终于被解开了。那里根本没有运河!正如蒙德所坚持的那样,那些"被看到"的运河只是眼睛的错觉而已。所有的东西都是干燥的,黑暗区域只不过是较暗的灰尘粒子堆,和几年前美国天文学家萨根所说的一样。

火星的一半,主要是南半球,像月球一样布满了环形山。另一半则似乎有一些因火山活动而填没了的环形山,还分布着一些大山,它们很明显是火山(虽然可能是长期不活动的)。其中最大的一座 1973 年被命名为奥林匹斯火山。这座山比平均地面高出 24000 米,中央有一个宽达 64 公里的巨大火山口,比地球上任何

一座火山都要大得多。

在火星表面上有一条裂缝，可能是造成运河错觉的原因。它是一个很大的峡谷，大约长 3000 公里、宽 500 公里、深 2 公里，现在被命名为水手峡。它是美国科罗拉多大峡谷的 9 倍长、14 倍宽和 2 倍深，可能是在 20 亿年前由于火山作用而形成的。

在火星上也有一些斑纹蜿蜒曲折地绕过火星的表面，同时还有分支，非常像干涸了的河床。火星会不会正处于一个冰河时期，以至于所有的水都冻结成了冰而存于冰冠中和泥土下呢？在较近的未来，会不会有一个时期情况变好，水以液体的形式出现而河水再次流动呢？在较近的过去是否发生过这种情况呢？如果是这样，会不会有非常简单的生物仍岌岌可危地存在于火星泥土之中呢？

现在需要的是一次在火星上软着陆。1975 年 8 月 20 日和 9 月 9 日，美国分别发射了**海盗 1 号**和**海盗 2 号**。**海盗 1 号**于 1976 年 6 月 19 日进入火星轨道并放下一枚**着陆器**，7 月 20 日成功地降落在火星表面。几星期后，**海盗 2 号**在偏北的位置也放下了一枚着陆器。

在通过火星大气时，着陆器分析了火星大气，发现除了二氧化碳之外，还有 2.7%的氮以及 1.6%的氩，也有一丁点儿氧。

在火星表面上，着陆器发现白天的最高温度是 7℃（-20°F）。在火星上的任何地方，表面温度似乎从来没有可能达到冰的熔点，这就是说，任何地方也不会有液体的水。正如金星太热生命不能存在一样，火星太冷了，生命也不能存在。或者说，除了最简单的生物外，至少对其他生物而言的确是太冷了。在最冷的地方连二氧化碳都会冻结，而且在冰冠当中似乎至少有一部分是冻结的二氧化碳。

着陆器发回火星表面的照片，并且分析它的土壤。结果发现，

火星的土壤比地球的土壤富铁贫铝。大约有80%的火星土壤是富铁的粘土,其中的铁可能以褐铁矿的形式存在。这是一种铁的化合物,红砖的颜色就是由它造成的。火星的红色使人联想到血,所以引起早期人类的恐惧,其实两者毫无关系:火星只是一个生锈的世界。

最重要的是,在着陆器上装备有小型化学实验室,能够测试土壤,看看会不会产生反应,以了解是否有活的细胞存在。做了三种不同的实验,却没有一个有明确的结果。看来生命只是在想象中存在,无法得到真正的肯定。使科学家们对生命存在的说法感到怀疑的是,土壤分析表明,就有机化合物——这是与生命有关的化合物类型——而言,没有可察觉的量。科学家们根本不打算相信可能存在无机性生命,这个问题必须等到更精密的着陆器降落在火星上,或者是人类自己到达这个星球后,才会有解答。

火星的卫星

起初并没有打算让火星探测器对火星的小卫星做详细的研究,但是当**水手9号**在绕火星的轨道运行中发现因为尘暴而没有照片可拍时,人们便将它的摄影机转向卫星。卫星的照片显示,它们的轮廓并不规则。天体通常被认为是圆球,但只有当它们足够大,因而有一个强大的引力场,能够把主要的不规则区域拉平时,它们才会是圆球。事实上,每个卫星的轮廓看起来都有点像是烘干的马铃薯,甚至连陨星坑都非常像马铃薯上的芽眼。

两个卫星中比较大的火卫一,直径变化是19~27公里(12~17英里),而火卫二的直径变化是10~16公里(6~10英里),它们简直就像绕火星飞行的两座山。不论是哪一个卫星,长的直径总是朝着火星,所以两者都被火星的引力锁定,如同月球被地球锁定一样。

火卫一上最大的两个陨星坑被命名为霍尔和斯蒂克尼，以纪念它们的发现者和他的妻子——那位鼓励他多观察一夜的女士。火卫二上最大的两个陨星坑则分别以法国讽刺作家伏尔泰和英国讽刺作家斯威夫特的名字命名，因为他们两位都在自己的小说里想象火星有两颗卫星。

木 星

木星，从太阳往外数第五颗行星，是行星系统中的巨人。它的直径有 142800 公里，是地球的 11.2 倍，质量则是地球的 318.4 倍。实际上，它是所有其他行星质量总和的两倍多。然而和质量是它的 1040 倍的太阳比起来，它还是一个侏儒。

木星与太阳的平均距离是 7.78×10^8 公里，相当于地球到太阳距离的 5.2 倍。即使和地球在太阳同一侧时，木星到地球的距离也从不少于 62751 万公里(39000 万英里)。它得到的阳光只有地球的 1/27，但由于身体庞大，在天空中依然很亮。

在最亮的时候它会达到 -2.5 星等，比任何一颗恒星都亮得多。金星和火星在最亮时会超过木星的亮度(金星超得更多)，但从另一个方面来看，当金星和火星在轨道较远的部分运行时，通常要暗淡得多。而木星则只有在远离地球时才稍微显得有点儿暗，因为它的轨道太远，所以不管它是否和我们在太阳的同一侧，亮度几乎没有什么变化。因此，除了太阳和月球外，木星常常是天空中最亮的天体(尤其是它可以整夜出现在空中，而金星却不能)，所以在西方木星被冠以希腊罗马神话中的众神之王的美称朱比特。

木星的卫星

当伽利略首次制成望远镜并将它转向天空时，他没有放过木

星。1610年1月7日,他在观测木星时,立刻看到了木星附近的3个光点——有2个在同一侧,1个在另一侧,都在同一条直线上。夜复一夜,每次观看木星时,总看到这3个小天体,它们的位置变化就好像是从木星的一侧到另一侧摆动一样。1月13日,他又发现了第四个。

伽利略断定,这4个小天体绕木星运转,如同月球绕地球运转一样。这些是太阳系中第一批用肉眼无法看见而被望远镜发现的天体。而且,这也是看得见的证据,说明太阳系中有些天体并不绕地球运转。

开普勒给这4个天体创造了一名词——**卫星**(源自拉丁文,意思是有钱有势者的随从)。从那之后,凡是环绕行星的物体都叫这个名字。月球是地球的卫星,**卫星1号**则是一颗人造的卫星。

这4颗木星的卫星统称为**伽利略卫星**。在伽利略的发现之后不久,一位荷兰天文学家马里厄斯给这4个卫星各取了一个名字。从木星往外数,分别是伊俄(中文名木卫一)、欧罗巴(中文名木卫二)、加尼美德(中文名木卫三)和卡利斯托(中文名木卫四),每个名字都和神话中的朱比特(即希腊神话中的宙斯)有关。

伽利略卫星当中,最近的木卫一距离木星中心422 000公里(262 000英里),差不多是月球到地球中心的距离。然而,木卫一每1.77天绕木星一周,不像月球绕地球一周用27.32天。木卫一之所以比月球运行得快得多,是因为木星的质量比地球大,因而木星的引力对木卫一的吸引也远远超过地球对月球的吸引。(实际上,木星的质量可以根据木卫一的速率计算出来。)

木卫二、木卫三和木卫四分别距离木星671 000、1 070 000和1 884 000公里(417 000、665 000和1 171 000英里),并且各以3.55天、7.16天和16.69天绕木星公转一周。木星和它的4颗伽利略卫星就像是一个小太阳系,而这4颗卫星的发现使哥白尼的行星

系统更为可信。

人们可以利用卫星来确定木星的质量之后,发现木星的质量低得惊人。木星的质量大约是地球的 318.4 倍,而体积却是地球的 1 400 倍。如果木星所占的空间是地球的 1 400 倍,为什么没有 1 400 倍的地球物质,从而有 1 400 倍的地球质量呢? 答案是木星每部分的质量要比地球相同部分的质量小。换句话说,木星的密度比地球小。

事实上,木星的密度只有水星的 1.34 倍,即只有地球密度的 1/4。很明显,木星一定是由密度比岩石和金属小的物质构成的。

这 4 颗卫星本身则和月球差不多。4 颗当中最小的是木卫二,直径大约是 3 120 公里(1 940 英里),比月球略小一点。木卫一直径是 3 650 公里(2 270 英里),差不多正好和月球一样大。木卫四和木卫三比月球大,木卫四的直径是 4 840 公里(3 010 英里),木卫三是 5 250 公里(3 260 英里)。

木卫三实际上是太阳系中最大的卫星,它的质量是月球的2.5倍。事实上,木卫三明显地大于水星,木卫四则跟水星差不多。然而,构成水星的物质密度要比木卫三大,结果木卫三只有水星质量的 3/5。靠里的两颗卫星木卫一和木卫二和月球的密度差不多,所以必定是由岩石物质组成的。木卫三和木卫四的密度和木星相似,所以必然是由较轻的物质组成的。

考虑到木星远大于地球,对木星有 4 颗卫星而地球只有 1 颗卫星就不会感到惊奇了。事实上,如果木星的卫星没有那么多,或地球的卫星不是那么少,那才是一件令人奇怪事情。

4 颗伽利略卫星合在一起是月球质量的 6.2 倍,但仅是它们所环绕的木星质量的 1/4 200。月球质量则是它所环绕的地球的 1/81。

通常行星所拥有的卫星和自己比起来都非常小——如木星的

卫星。在所有行星中,金星和水星根本没有卫星,尽管金星和地球大小差不多;火星有两颗,但是非常小;地球的卫星非常大,地球和月球几乎可以被看成是一颗双行星。

在伽利略发现木星的4颗卫星之后,将近3个世纪,没有再发现任何木星的卫星,虽然这段时间内发现了别的行星的15颗卫星。

最后,1892年,美国天文学家E.E.巴纳德探测到了一个靠近木星的光点,非常暗淡,在木星光的闪耀下几乎无法看到。它就是木星的第五颗卫星,也是用眼睛观察发现的最后一颗卫星。从那以后,卫星都是通过从地球上或由探测器所拍摄的照片而发现的。

这第五颗卫星被命名为阿玛尔忒亚(中文名木卫五。阿玛尔忒亚是希腊神话中的一个水中仙女,她被想象为曾在宙斯婴幼时哺过他奶)。这个名称直到20世纪70年代才被正式承认。

木卫五距离木星中心只有180000公里(112000英里),以11.95小时的周期运行。它比任何一颗伽利略卫星都更靠近木星,在那样近的距离上木星的光亮使得它黯然失色,这也是经过这么长的时间才发现它的一个原因。另一个原因是它的直径只有250公里(155英里),是最小的伽利略卫星的1/13,所以非常暗。

虽然如此,后来发现木星还有许多比木卫五还小因此也更暗的其他卫星。这些卫星大部分距离木星很远,远在任何一颗伽利略卫星的轨道之外。在20世纪,发现了8颗这样的**外层卫星**;第一颗在1904年,第八颗在1974年。在那时,这8颗卫星仅按它们的发现次序以罗马数字来表示,从木星Ⅵ到木星ⅩⅢ。

美国天文学家珀赖因于1904年12月发现了木星Ⅵ,1905年1月发现了木星Ⅶ。木星Ⅵ的直径大约是97公里(60英里),而木星Ⅶ的直径大约是32公里(20英里)。

木星Ⅷ于1908年被英国天文学家梅洛特发现,而美国天文学

家尼科尔森1914年发现了木星Ⅸ,1938年发现了木星Ⅹ和木星Ⅺ,并于1951年发现了木星Ⅻ。这后面的4颗直径大约是24公里(15英里)。

最后,1974年9月10日,美国天文学家科瓦尔发现了木星XIII,直径只有16公里(10英里)。

这8颗外层卫星可以分为两组。里面的4颗——Ⅵ、Ⅶ、Ⅹ和XIII——平均距离木星1 126万公里(700万英里)左右,大约是木星到木卫四的6倍,外面的4颗平均距离木星2 253万公里(1 400万英里),大约是里面4颗距离木星的2倍。

伽利略卫星都是在木星的赤道面上以几乎正圆形的轨道绕木星运行。这是可以预料到的情形,这是由木星对这些卫星的潮汐效应造成的(我将在下一章中进一步讨论这个问题)。如果某个卫星的轨道不在赤道面上(即轨道倾斜),或者不是正圆(即偏心圆),那么木星的潮汐效应会在一定的时间内将卫星拉回赤道面,并使其轨道变圆。

但是,潮汐效应和作用物的质量成正比,却随着距离的增加而迅速减弱,并和被作用物的大小成反比。因此尽管木星的质量很大,对很小的外层卫星却只有很弱的潮汐效应。这样,虽然有4颗卫星和木星的平均距离差不多,另外4颗又几乎都在另一个距离上,却没有碰撞的迫切危险。因为每一个轨道都有不同的倾斜角和不同的偏心率,所以,这些卫星在环绕行星的运行中永远不会和其他任何一个打交道。

在外层卫星中的那4颗靠外的卫星,它们的轨道倾斜的程度,简直可以说是把它们扭转得颠倒了过来。它们以反常的方式绕木星公转,也就是顺时针运行(从木星北极的上方来看),而不像其他木星的卫星那样逆时针运行。

这些小的外层卫星可能是被俘获的小行星(我将在本章的后

面加以论述),而它们不合常规的轨道可能是由于它们加入木星卫星系统的时间还不长,潮汐效应还没有来得及修正它们的轨道。此外,天文学家能够证明,如果一个卫星以反常的轨道接近行星,就比较容易被这颗行星俘获。

最近几年,所有木星的外层卫星都以冷僻的神话人物正式命名。离木星最远的卫星是木星Ⅷ,现在叫做帕西法厄(中文名木卫八)。它的轨道偏心率相当大,以致在轨道最远的那一点,离木星有3 300万公里(2 060万英里),是月球离地球最远时的80多倍。这是我们所知环绕行星的卫星当中距离最远的一颗。

木星Ⅸ称为西诺普(中文名木卫九)。它的平均距离稍大于木卫八,因此环绕木星一周的时间更长一些。木卫九环绕木星一周要758天,差不多相当于两年又一个月。我们所知道的其他卫星没有一颗有这样长的公转周期。

木星的形状和表面

木星本身的情况又是怎样的呢? 1691年,J.D.卡西尼用它的望远镜研究木星,发现它不是一个光亮的圆而是一个相当确切的椭圆。从三维的角度来看,这一观察意味着木星不是一个圆球,而是一个扁球,很像一个橘子。

这实在令人惊讶,因为太阳和月亮(满月时)都是完美的光圆,因此似乎是完美的圆球。然而,牛顿的理论(当时还是非常新的)可以圆满地解释这种现象。我们在下一章里将会看到,一个**旋转着的**圆球有可能成为扁球。因为旋转会使圆球在赤道区域隆起而在两极之处扁平。旋转得愈快,就愈不像一个圆球。

因此,从赤道上的一点到赤道对过的另一点的直径(**赤道直径**)必然比从北极到南极的直径(**极直径**)长。木星的赤道直径,也就是通常在天文书中所给的直径,是142 800公里,但是它的极直

径只有 134 000 公里。两者相差 8 800 公里,大约是地球直径全长的 2/3。这个差距除以赤道直径所得的数字叫**扁率**。木星的扁率是 0.062,或者以分数来表示为 1/16。

水星、金星和我们的月球,由于转动十分缓慢,所以没有可测量的扁率。太阳以中等的速率旋转,强大的引力吸引使它保持不太隆起,因此它也没有可测量的扁率。地球转动得快一些,有0.0033的很小的扁率。火星的转动速度中等,但使赤道保持不隆起的引力吸引比较小,所以它的扁率是0.052。

虽然木星的引力吸引比地球大得多,它的扁率却几乎是地球的 19 倍,因此我们可以估计,木星绕着它的轴旋转得相当快。事实确是如此。1665 年,J.D. 卡西尼追踪木星表面上稳定移动着的标志,发现木星自转周期不到 10 小时。(现在的数字是9.85小时,或 2/5 地球日)。

虽然木星自转周期比地球短得多,但木星的体积远大于地球。在地球赤道上的一个点,用 24 小时绕一整圈,所以,它 1 个小时要走 1 670 公里(1 040 英里)。木星赤道上的一个点,要用 9.85 小时转一整圈,1 个小时则走 45 000 公里(28 000 英里)。

J.D. 卡西尼看到的那些斑点(后来也有一些天文学家观察到)一直在变化,因此似乎不是固体表面的一部分。这些天文学家所看到的很像是金星外围那样的云层,而那些斑点可能是各种风暴系统。另外还有平行于赤道的带色的条纹,这些可能是盛行风造成的。木星绝大部分是黄色的,而带色的条纹则变化不定,从橙色到褐色,有时带点白色、蓝色或灰色。

英国科学家胡克 1664 年首先看到木星表面上最引人注目的标志;到了 1672 年,J.D. 卡西尼绘制木星图时,标明这个标志是一个大圆斑。这个斑在以后几年的木星图中也曾出现;但直到 1878 年,德国天文学家坦普尔才对它加以戏剧化的描述。当时他

觉得那个斑很红,从那时以来,它一直以大红斑著称。其实它的颜色不断地随时间而变化,有时颜色非常暗淡,质量差的望远镜就会看不到。从地球上看,它是一个卵形物,从东至西长 48 000 公里(30 000 英里),由南至北宽 13 000 公里(8 000 英里)。

有些天文学家怀疑大红斑是一个巨大的陆龙卷。事实上,木星体积和质量如此之大,竟使一些人怀疑木星可能比其他的行星热得多——热到接近炽热的程度。大红斑可能真是这样一个炽热的区域。然而,虽然木星的内部无疑是非常热的,但它的表面却并非如此。1926 年,美国天文学家门泽尔证明,我们能看到的木星云层,温度是 - 135℃。

木星的物质

由于木星的密度低,所以木星必然富有密度比岩石和金属低的物质。

宇宙间最常见的物质通常是氢和氦。氢原子占全部原子的 90%,氦原子占 9%。这并不令人惊讶,因为氢原子是存在的最简单物质,而氦原子仅次之。在剩余的原子中,大部分是碳、氧、氮、氖和硫。氢原子和氧原子结合形成水分子;氢原子和氮原子结合形成氨分子。

这些物质的密度在正常情况下和水相等或者比水低。如果在强大的压力下,如在木星的内部,它们的密度可能会比水高。如果木星是由这些物质组成的话,倒是可以解释它的低密度。

1932 年,一位德国天文学家维尔特研究从木星反射的光,发现某些波长被吸收了——正是会被氨和甲烷所吸收的波长。因此他推断,至少这两种物质存在于木星大气之中。

1952 年,木星正从白羊座 σ 星前面通过时,两位美国天文学家鲍姆和科德仔细地观察了这一事件,发现当这颗星接近木星的

球体时,它的光穿过了木星云层上方薄薄的大气。从光变暗的方式可以证实,这种大气主要是氢和氦。1963 年,美国天文学家斯平拉德研究发现还有氖。

在地球的状况下,这些物质都是气体;如果木星结构的绝大部分是由这些物质组成的话,那么将木星叫做**气体巨行星**似乎非常合适。

第一批木星探测器是**先驱者 10 号**和**先驱者 11 号**,分别于 1972 年 3 月 2 日和 1973 年 4 月 5 日发射。**先驱者 10 号**于 1973 年 12 月 3 日通过木星,在木星可见表面上方仅 136800 公里(85000 英里)。**先驱者 11 号**则在 1 年之后的 1974 年 12 月 2 日从木星上方仅 42000 公里(26000 英里)的地方通过。它通过了木星北极的上方,于是人类第一次看见了木星的北极。接着又发射了一对更为先进的探测器。它们是**旅行者 1 号**和**旅行者 2 号**,分别于 1977 年的 8 月 20 日和 9 月 5 日发射,于 1979 年 3 月和 7 月通过木星。

这些探测器证实了以前对木星大气的推断。木星大气大部分是氢和氦,比例大约是 10:1(正好是宇宙通常的状况)。有些成分在从地球上探测时没有测到,其中包括乙烷和乙炔(两者都是碳氢化合物)、水、一氧化碳、磷化氢以及锗烷。

无疑,木星大气含有相当复杂的组成和化学性质,除非能够向木星大气中发射一枚探测器,并让探测器在木星大气中长期存留以发回足够的资料,否则对木星的大气不会有充分的了解。大红斑(正如大多数天文学家所猜测的)是一股巨大的飓风,比地球还要大而且几乎永久不衰。

整个木星似乎都是液体。温度随着深度迅速升高,强大的压力也会促使氢变成炽热的液体。在木星的中心可能有一个固态的白热的金属核心。(到目前为止,木星深处的状况在地球上仍无法

复制,可能还需要一些时间才能对它作出肯定的推断。)

木星探测器

木星探测器在逼近4颗伽利略卫星的地方拍下了它们的照片,使人的眼睛第一次看到它们比普通的小圆盘略大一点。

后来得到关于它们的实际大小和质量的更精确的资料,尽管发现伽利略卫星中最里面的木卫一的真正质量比原来猜想的增加了1/4,可是也证明了以前的其他估计只需要一些小的修正。正如人们从木卫三和木卫四的低密度所能猜想的那样,木卫三和木卫四是由轻物质(如水)组成的。由于距离太阳遥远(同时因为是小天体,没有像木星或地球那样巨大的内热能),因而处于低温之下,使这些物质呈现固体状态而被称为**冰**。两个卫星上都散布着许多陨星坑。

木星的潮汐作用能把这些卫星加热,因为潮汐作用有反复弯曲卫星上物质的倾向,因而使物质摩擦生热。但潮汐作用随着距离的增加而迅速减小。木卫三和木卫四距离木星太远,潮汐生热极少,所以依然保持冰冻的状态。

木卫二离太阳比较近,在其历史上的某个早期阶段,由于太热无法聚集很多的冰;或者,即使聚集了很多冰,在那一段历史过程中,大部分已被融化、蒸发,散失到空间。(伽利略卫星的引力场太小,无法在潮汐生热时保留住大气。)可能是因为无法聚集大量的冰,或者是在聚集之后又失去,才使木卫二和木卫一明显地比木卫三和木卫四小。

但是木卫二仍然有足够的冰而形成一个全是海洋的世界(如同以前想象的金星那样)。在木卫二的温度下,这个海洋是一个冰川的世界。而且,这个冰川非常平滑(木卫二是天文学家们至今所看到的最平滑的固体世界),然而在它上面有纵横交错的细而暗的

斑纹，使它看起来非常像洛威尔的火星图。

木卫二的表面冰川光滑而没有陨星坑的事实，使人们猜测在它的下面可能存在着由潮汐生热融化的液体水。陨星的碰撞（如果够大的话）可能击碎冰的表层，但是随后水将冒出而再冰冻，重新封住裂口。较小的碰撞可能造成短暂的裂缝；这些裂缝也可能是由潮汐效应或其他因素造成的。尽管如此，总的说来木卫二的表面一直保持平滑。

伽利略卫星中最靠近木星的木卫一得到的潮汐生热最多，因此很明显它是完全干燥的。就在探测器到达之前，人们仍然对它感到困惑。1974 年，美国天文学家布朗报告说，木卫一被一层钠原子的黄霾所围绕。确实，木卫一运行的整个轨道上似乎弥漫着一层稀薄的霾，像是环绕木星的一条黄色的彩带。这些黄霾必定来自木卫一，但没人知道是怎样形成的。

先驱者号探测器证实，木卫一的确有一层稀薄的大气，密度约为地球的 1/20 000，后来**旅行者号**探测器解开了这个谜。**旅行者号**拍摄的照片表明，木卫一有活火山。除了地球上的活火山之外，这些是人们知道存在的仅有的活火山。很明显，岩石熔化的区域（被木星的潮汐作用所加热）潜伏于木卫一的表面之下，而在不同的地方以喷射钠和硫的方式穿过外壳，形成大气和轨道上的黄彩带。木卫一的表面覆盖了一层硫，使它的颜色由黄到褐。木卫一的环形山不多，因为大部分环形山被火山物质填满了。只有几个较暗的斑点表示一些新近出现的环形山尚未填充。

在木卫一轨道内侧的是木卫五，从地球上看它只不过是一个小光点。**旅行者号**探测器证实，同火星的两颗卫星一样，木卫五也是一个不规则的天体，但是比较大。它的直径变化在266～140公里（166～87 英里）之间。

还发现了另外 3 颗卫星，每一颗都比木卫五更靠近木星，也都

比木卫五小得多。它们是木星XIV、木星XV和木星XVI,据估计它们的直径分别是24、80和40公里(15、50和25英里)。在目前的条件下,由于它们太小和太靠近木星的光芒,从地球上无法看到这些卫星。

木星XVI最靠近木星,距木星中心只有128700公里(80000英里)——也就是在木星云层表面上方仅58000公里(36000英里)。它每7.07小时绕木星公转一周。木星XIV只稍远一点儿,以7.13小时的周期绕木星公转。两者的公转都比自转快。所以如果从木星云层上看的话,将会发现两颗卫星都是西升东落。

在最内层的卫星轨道内,有一些岩屑,像是围绕着木星的一条零碎的又薄又稀的光环。由于光环太薄太稀,所以用一般的方法在地球上看不到。

土　　星

土星是古人所知道最远的一颗行星,它虽然距离我们很远,却相当地明亮。在最亮的时候,它可以达到-0.75星等,此时除了天狼星之外,比任何恒星都要亮。它的亮度也超过了水星,而且无论如何,它也比水星更容易观察,因为土星比我们距离太阳更远,不像水星那样只能保持在太阳的周围,以致无法在半夜的星空中出现。

土星与太阳的平均距离是14.3×10^8公里,是木星平均距离的1.833倍,绕太阳公转一周约需29.458年,与木星公转周期11.862年相比,土星年大约是木星年的2.5倍。

在许多方面,土星都亚于木星。就拿大小来说,它是太阳系中的第二大行星,次于木星。赤道直径为120000公里,仅为木星的5/6。由于土星体积比较小,距离太阳又比较远,因而照射到土星

上的太阳光的强度仅为木星的一半,使土星比木星暗了许多。但是在另一方面,土星仍然大得足以使它有相当大的亮度。

土星的质量是地球的95.1倍,成为仅次于木星的第二个质量最大的行星。它的质量只有木星的3/10,而体积却为木星的6/10。

这样大的体积中只有这么少的质量,土星的密度一定非常低。确实,土星的密度仅是水的0.7倍,是我们知道的太阳系中密度最小的行星。如果我们设想能够用塑料布把土星包起来,以防止它融化或散开,然后将它放进一个能够容得下的海洋里,它将会浮在水面上!因此可以推测,土星较木星含有更多的氢,而其他的含量则较少。同时,由于土星的重力很弱,因此对组成它的物质也不能像木星压缩自己的物质那样压缩得那么紧。

虽然土星的体积较小,自转速度却很快,但比起木星还是慢了些;土星的自转周期是10.67天,所以土星日比木星日长8%。

尽管土星的自转比木星慢,但是土星外层的密度较低,吸住外层的引力吸引也较小。结果,土星在赤道附近隆起较大,而成为太阳系最扁的一颗行星。它的扁率为0.102;比木星扁1.6倍,比地球扁30倍。虽然土星的赤道直径有120000公里,而极直径却仅有108000公里,相差12000公里,几乎是地球直径的全长!

土星环

从另一个角度来看,土星反而独具丰姿。伽利略第一次透过他原始的望远镜观察土星时,发现它的形状有点奇怪,好像在其球体的两侧还有两个小球。他继续观察,发现那两个小球渐渐变得很难看见,到1612年年底时,终于同时消失不见了。

其他天文学家也报告过土星的这种奇怪现象;但直到1656年,惠更斯才提出了正确的解释。他宣称,土星外围环绕着一圈又

亮又薄的光环,光环与土星不接触。

土星的自转轴和地球一样,也是倾斜的,土星的轴倾角是26.73°,地球则是23.45°。由于土星的光环和赤道是在同一平面上,所以它是对着太阳(也对着我们)倾斜的。当土星运行到其轨道的一端时,我们可由上往下看见光环近的一面,而远的一面仍被遮住。当土星在轨道的另一端时,我们就可由下往上看到土环近的一面,而远的一面依然被遮住。土星从轨道的这一侧转到另一侧需要14年多一点。在这段时间内,光环也逐渐由最下方移向最上方。行至半路时,光环恰好移动到中间位置,这时我们观察到光环两面的边缘连接在一起,状如"一条线"。随后,土星继续运行,沿着另一半轨道绕回原来的起点,这时光环又逐渐地由最上方向最下方移动;移到正中间时,我们又看见其边缘连接在一起。因为土星环非常薄,所以当光环状如"一条线"时就好像消失了一样。1612年年底伽利略看到的正是这种情景;据说由于懊恼,他没有再观察过土星。

1675年,J.D.卡西尼发现,土星环并不是一个完整的光环。在光环的周围有一条暗线,把光环分成内外两部分。外面的一部分比较窄,而且不如里面那一部分亮,看起来像是两个环套在一起。从那以后,土星环一直被认为是由几个环组成的(见图4-9)。这条暗线现在叫做**卡西尼缝**。

1826年,德国血统的俄国天文学斯特鲁维把外面的环命名为A环,把里面的环命名为B环。1850年,美国天文学家W.C.邦德宣称,还有一个比B环更靠近土星的暗淡光环。这个暗淡光环就是C环,C环与B环之间并没有明显的分界。

在太阳系的任何地方都没有像土星环那样的东西,或者说,用任何仪器我们也看不到任何地方有像土星环那样的光环。诚然,我们现在知道,围绕着木星有一个稀薄的物质光环,且任何像木星

和土星这样的气体巨行星都可能有一个由靠近它们的岩屑构成的光环。然而,如果以木星的光环为标准,这些光环都是可怜而微不足道的,而土星的环系却是壮丽动人的。从地球上看,从土星环系的一端到另一端,延伸 269 700 公里(167 600 英里),相当于地球宽度的 21 倍,实际上几乎是木星宽度的 2 倍。

土星环到底是什么呢? J.D. 卡西尼认为它们像铁圈一样是平滑的实心环。可是,1785 年拉普拉斯(后来他提出了星云假说)指出,因为环的各部分到土星中心的距离不同,所以受土星引力场吸引的程度也会不同。这种引力吸引的差异(即我前面提过的潮汐效应)会将环拉开。拉普拉斯认为,光环是由一系列的薄环排在一起组成的,它们排列得如此紧密,以致从地球的距离看去就如同实心的一样。

可是,1855 年,麦克斯韦(后来他预言了电磁辐射宽频带的存在)提出,即使这种说法也未尽圆满。光环受潮汐效应而不碎裂的惟一原因,是因为光环是由无数比较小的陨星粒子组成的,这些粒子在土星周围的分布方式,使得从地球的距离看去给人以实心环的印象。麦克斯韦的这一假说是正确的,现在已无人提出疑义。

法国天文学家洛希用另一种方法研究潮汐效应,他证明,任何坚固的天体,在接近另一个比它大得多的天体的时候,都会受到强大的潮汐力作用而最终被扯成碎片。这个较小的天体会被扯碎的距离称为**洛希极限**,通常是大天体**赤道半径**的 2.44 倍。

这样,土星的洛希极限就是 2.44 乘以它的赤道半径 60 000 公里,即 146 400 公里,A 环的最外边缘至土星中心的距离是 136 500 公里(84 800 英里),因此整个环系都处在洛希极限以内。(木星环也同样处在洛希极限以内。)

很明显,土星环是一些永远也不能聚结成一颗卫星的岩屑(超过洛希极限的岩屑会聚结成卫星——而且显然确实如此),或者是

一颗卫星因某种原因过分靠近土星而被扯碎后留下的岩屑。无论是哪一种情况，它们都是余留的一些小天体。(被作用的天体越小，潮汐效应也就越小，碎片小到某个程度之后，就不再继续碎裂了，除非两个小天体相互间偶尔碰撞。)据估计，如果将土星环所有的物质聚合成一个天体，结果将会是一个比我们的月亮稍大的圆球。

土星的卫星

土星除了光环之外，也和木星一样拥有一族卫星。1656 年，在发现土星光环的同一年，惠更斯第一次发现了土星的一颗卫星。两个世纪以后，这颗卫星才被命名为提坦(中文名土卫六)。在希腊神话中提坦是一个神族，称为提坦诸神，萨图耳努斯(土星的命名)就是希腊神话中的克罗诺斯，他也属于这个神族。土卫六的体积很大，和木卫三的大小差不多，但密度比木卫三小，所以它们彼此的质量相差甚远；尽管如此，土卫六无论在质量或是直径上，仍然是太阳系中的第二大卫星。

有一点土卫六至今仍居同类的首位。虽然土卫六的表面重力很小，但是由于它比木星的卫星离太阳更远，因而也更冷，所以它能更好地保留住那些因受冷而变得不活跃的气体分子。1944 年，在德国出生的美国天文学家柯伊伯探测到了土卫六周围的不可否认的大气，并发现大气中含有甲烷。甲烷是地球上天然气中的主要成分，它的分子(CH_4)是由 1 个碳原子和 4 个氢原子结合而成的。

在发现土卫六的时候，已经知道的其他卫星共有 5 颗，它们分别是月球和木星的 4 颗伽利略卫星，这 5 颗卫星大小都差不多，比起已知的行星来它们的大小都非常相似。然而，在 1671—1684 年期间，J. D. 卡西尼又发现了不少于 4 颗土星的卫星，每一颗的直

径都比伽利略卫星中最小的木卫二还要小得多。J.D.卡西尼发现的这些卫星中，最大的直径有1 400公里(900英里)，现已被命名为伊阿佩托斯(中文名土卫八)，最小的直径只有1 000公里(650英里)，名为忒梯斯(中文名土卫三)。从此以后，人们知道了卫星可以是很小的。

到19世纪末的时候，土星卫星的数目已经增加到9颗。最后发现的第九颗被称为福柏(中文名土卫九)，是由美国天文学家W.H.皮克林首先探测到的。它是目前已知的最远的一颗卫星，与土星的平均距离为1 300万公里(800万英里)。土卫九以逆行的方向每549天绕土星公转一周。它也是最小的一颗卫星(因为小，自然就暗，所以这么晚才被发现)，直径约为190公里(120英里)。

1979年～1981年，**先驱者11号、旅行者1号和旅行者2号**3枚探测器先后通过木星，奔向土星，为我们提供了精密观察土星本体、土星环和土星卫星的机会。

土卫六因为拥有自己的大气，当然是我们探测的主要目标。**旅行者1号**发射的无线电信号在通往地球的途中掠过土卫六的大气，一些信号能量被吸收了；根据吸收的具体成分来计算，结果发现，土卫六的大气意想不到的浓密。从地球上探测到的甲烷含量来估计，土卫六的大气密度和火星大气差不多。事实上并非如此。土卫六的大气密度是火星大气的150倍，大约是地球大气的1.5倍。

之所以会有这样令人惊讶的数字，是因为从地球上探测到的仅是甲烷，如果土卫六的大气中只有这一种成分的话，土卫六的大气会是稀薄的。但是，甲烷仅占土卫六大气全部含量的2%，其余的是氮，而氮气很难利用其吸收特征探测出来。

土卫六大气云雾弥漫，根本看不见固体表面。然而这种云雾

却非常有趣。甲烷是一种容易**聚合**的分子,即能够自我结合成更大的分子。于是,科学家们随意推测,土卫六可能具有由相当复杂的含碳分子构成的海洋或泥沼。实际上,我们甚至可以自得其乐地想象,土卫六的表面覆盖着沥青,固体石油露出地面,甲烷和乙烷湖冒着气泡。

正如人们可以预想的那样,其余的土星卫星都有陨星碰撞的坑。9颗卫星中最内层的土卫一有一个坑非常大(相对于卫星的大小而言),可以想象,产生这个坑的撞击必定差一点儿把这整个星球粉碎。

土卫二在9颗卫星中排行老二,但它的表面相当平滑,可能是由于潮汐生热致使部分融化的结果。土卫七是一个最不圆的卫星,直径变化从110公里到190公里(70~120英里),形状看起来很像火星的卫星,但比它们大得多,正因为它足够大,所以人们认为,在其自身的引力作用下,土卫七应该变得相当圆。它现在之所以不圆,大概是新近分裂出来的缘故。

从1671年首次发现土卫八时起,土卫八就有自己的特色,在土星西侧时比在东侧时要亮5倍。因为土卫八总是保持一面朝向土星,所以它在土星的一侧时,我们看到的是它的半球,到了另一侧时,看到的是它的另一半球,由此人们自然会猜想,一半球对阳光的反照率是另一半球的5倍。**旅行者1号**传送回来的照片证实了这种猜想。由照片上可以看出。土卫八有明有暗,好像一面是冰,另一面却覆盖着暗色的尘土。这种差异的原因尚不清楚。

土星探测器也成功地发现了8颗小卫星,它们都太小,从地球上探测不到,这样就使土星的卫星总数增加到了17颗。最靠里的卫星距离土星中心仅137 000公里(85 000英里),高出土星的云层77 000公里(48 000英里),大约14.43小时绕土星公转一周。

在土卫一轨道的内侧,有两颗卫星异乎寻常地**共轨**,即两颗卫

星共用同一轨道,绕着土星不停地互相追逐。这是我们知道的这种共轨卫星的第一个例子。它们距离土星中心 150 000 公里(94 000 英里),公转周期为 16.68 小时。1967 年法国天文学家多尔夫报告说,他在土卫一的轨道内侧发现了一颗新卫星,并命名为伊阿努斯(中文名土卫十)。他看到的可能是这共轨卫星中的一颗。因为在不同的时间会看到不同的卫星,致使他得出了错误的轨道资料。如今在土星卫星的名单上已不再使用伊阿努斯这个名字了。

其余的 3 颗新发现的卫星也呈现了前所未有的奇特现象。在很久以前被 J.D. 卡西尼发现的土卫四,被探测到还有一颗微小的共轨伴星,土卫四的直径是 1 120 公里(700 英里),而伴星土卫四-B 的直径仅有 32 公里(20 英里),并且保持在超前土卫四 60°的位置环绕土星运行。结果,土星、土卫四和土卫四-B 分别位于等边三角形的三个顶点上。这就是**特罗央情形**,我将在下面的叙述中解释其中的原因。

这种情形只有当第三个天体远远小于前两个天体时才可能发生。发生这种情形时,小的天体必须超前或落后大的天体 60°。超前要在 L-4 位置,落后要在 L-5 位置。土卫四-B 位于L-4 位置。(英文字母 L 是为了纪念意大利出生的法国天文学家拉格朗日,1772 年,他计算出这种位形在引力上是稳定的。)

接下来是土卫三,也是卡西尼卫星之一。它有两颗共轨伴星:土卫三-B 在 L-4 位置,土卫三-C 位于 L-5 位置。

很明显,土星的卫星家族是我们迄今所知太阳系中数目最多而且情况最复杂的一个。

土星环远比我们想象的复杂得多。从近距离的观察可以看出,它是由上百个甚至上千个的细环组成的,就像唱片上的沟槽一样,有些地方的暗纹像车轮的辐条一样垂直于环上。在更外层的

地方还有一个好像是由三个缠绕在一起的小环组成的微弱光环。以上的这些现象迄今还无法解释,不过一般都认为,由于电效应,简单的引力解释一定会变得复杂起来。

最外围的行星

在望远镜尚未诞生的年代里,土星是人类所知道的最远而且移动最慢的一颗行星。它也是最暗的一颗行星,但它仍然是一星等的星。在人们知道行星存在以后的几千年中,似乎从来没有人想到,可能会有些行星离我们太远,因而太暗,我们无法看到。

天王星

虽然伽利略曾经指出,天上还有数以万计的星星亮度太小,不使用望远镜就看不到,但是可能存在着暗行星这件事并未引起人们的关注。

后来,1781 年 3 月 13 日,W. 赫歇耳在测量恒星的位置时,在双子星座中看到了一个天体,不是一个光点,而是一个小光盘。起初他以为那是一颗遥远的彗星,因为在用望远镜观察时,除了行星之外只有彗星才会像圆盘。然而彗星是模糊的,而这颗星的轮廓非常清晰,而且,它在天空中相对于恒星背景的移动速度比土星还要慢,因此,这颗行星必定比土星更遥远更暗淡。这颗新的行星最终被命名为乌剌诺斯(中文定名为天王星。乌剌诺斯是古希腊神话中的天神,即萨图耳努斯之父)。

天王星与太阳的平均距离为 2.9×10^9 公里,差不多正好是土星到太阳平均距离的 2 倍。天王星比土星小,直径为 51 800 公里,是地球直径的 4 倍。天王星的质量是地球的14.5 倍,但只是土星质量的 1/6.6,木星质量的 1/22。

因为它距离遥远,体积也比较小,所以看上去比土星、木星暗得多。但是肉眼也不是完全不能看到。只要我们在黑暗的夜晚找一个适当的方位观察,即使不用望远镜也可以看到这颗微亮的星。

难道古代的天文学家们从来没发现过它吗?当然不是,只不过当时大家都认为行星应该是很亮的,因而对这样一颗非常暗的星没有在意罢了。即使人们连夜地观看它,也不会看到它的位置变化,因为它的移动太小了。再者,早期的望远镜也不太好,即使瞄准了正确的方向,也不会将天王星显现成一个清楚的小圆盘。

早在1690年时,英国的科学家弗拉姆斯蒂德在金牛座中列出了一颗星,还命名为金牛座34。以后天文学家们却找不到这颗星。天王星被发现后,它的轨道也被计算了出来。按今天已知的天王星轨道逆推回去,在弗拉姆斯蒂德时代,天王星确实在他所报告的金牛座34的位置上。半个世纪之后,法国的天文学家勒莫尼埃也曾在13个不同的时刻观察到天王星,并把它记在了13个不同的位置上,他误以为看到的是13颗不同的恒星。

对于天王星的自转周期,现在有两个相冲突的说法。通常都认为是10.82小时;但是,1977年有人提出是25小时。我们大概要等收到探测器的资料后才能确定①。关于天王星的自转有一点是可以肯定的,那就是它的自转轴倾斜。倾斜角为98°,略大于直角。因此,在天王星每84年绕太阳公转一周的过程中,它看上去好像是在沿着自己的一侧滚动一样;它的两极每个极都是42年的连续光照,跟着是42年的连续黑夜。

天王星距离太阳遥远,这种情形对它并没有什么影响。如果地球这样自转的话,四季将会发生剧烈的变化,地球上能否出现生

---

① 根据1986年**旅行者2号**发回的资料,初步确定为16.8小时±18分。——译注

命就大可怀疑了。

W.赫歇耳在发现天王星之后,每隔一段时间都要观察它。1787年,他又发现了两颗命名为蒂坦尼亚(中文名天卫三)和奥伯龙(中文名天卫四)的卫星。1851年,英国的拉塞尔又发现了两颗更内层的卫星,分别起名为阿里尔(中文名天卫一)和昂布里尔(中文名天卫二);最后,柯伊伯于1948年发现了第五颗卫星米兰达(中文名天卫五)①。

这些卫星全都在天王星的赤道面上绕天王星公转,所以不仅天王星,而且它的卫星系统,也像是在沿着自己的一侧滚动。它们绕天王星南北运行,而不像通常那样东西运行②。

天王星的卫星离天王星都很近,至少,我们所能看到的卫星中没有一个远的。5颗当中最远的是天卫四,它距离天王星中心586 000公里(364 000英里),仅是地球到月球距离的一半,天卫五距离天王星中心仅130 000公里(80 800英里)。

这些卫星的体积也都很小,没有一颗可以和伽利略卫星、土卫六或月球相提并论。最大的天卫四直径也不过1 600公里(1 000英里),而最小的天卫五直径只有240公里(150英里)。

在很长一段时间里,天王星的卫星系统似乎没有什么特别激动人心的东西;但是后来1973年,英国的天文学家G.泰勒计算出,天王星将通过一颗九等恒星SA0158687的前方。这一事件使得天文学家们兴奋不已,因为在天王星从这颗恒星前面通过的过

---

① 1986年1月24日,**旅行者2号**飞临天王星,又发现10颗天王星卫星。

② 因为天王星的赤道面几乎和黄道面垂直,所以,这里的南北、东西是对黄道面而言的。如果像地球那样,站在天王星上,以天王星自转轴方向为南北,顺天王星赤道方向为东西,则天王星卫星仍是绕天王星东西运行,而非南北运行。——译注

程中，就在这颗恒星消失之前，恒星星光将会在一段时间里，穿过天王星的高层大气。同样，当这颗恒星从天王星后面出现时，恒星星光也将穿过天王星的高层大气。星光在穿透大气过程中的变化，可以清楚地告诉天文学家关于天王星大气的温度、压力和成分。这次掩星过程预计发生在 1977 年的 3 月 10 日。为了观察这次掩星，那天晚上，美国的天文学家埃利奥特和他的几位同事，乘飞机升上高空，以避开低空大气的畸变及遮掩效应。

在天王星到达这颗恒星之前，星光突然变暗大约 7 秒钟，随后又变亮了。在天王星继续接近恒星的过程中，又有 4 次变暗，每次都为 1 秒钟。在恒星从天王星的另一侧出现时，也发生了同样变暗的情况，只是顺序相反。解释这个现象的惟一方法，就是假设天王星也是被一些稀薄的光环围绕着，这些光环太薄、太疏、太暗，在地球上一般是看不到的。

在掩星期间对天王星的仔细观察，如 1978 年 4 月 10 日的一次观察，发现天王星共有 9 个光环，最里面的环和天王星中心相距 40 500 公里(25 200 英里)，最外面的环距离天王星中心 49 100 公里(30 500 英里)。整个环系都完全在洛希极限之内。

天王星的光环非常薄，非常疏，非常暗，我们可以计算出，天王星光环的亮度仅为土星环的 1/3 000 000。无怪乎除了这种间接的方法外，用任何方法都看不到天王星的环。

后来，在木星的光环被发现以后，人们开始认为光环根本不是一种特殊的现象。大概所有的气体巨行星除了有很多颗卫星外，都有自己的环系。土星之所以特殊，并不是因为它具有环系，而是因为它的环系分布广泛而又非常明亮。

海王星

发现天王星后不久，就计算出了它的轨道。但是，经过几年的

观察，发现它并没有完全按照算出的轨道运行。1821 年，法国天文学家布瓦尔考虑了弗拉姆斯蒂德等人的观察结果，重新计算了天王星的轨道。但是天王星也不完全按照这条新的轨道运行。

其他行星对天王星的微小吸引(摄动)会轻微地影响天王星的运行，使它稍微超前或落后于它理论上的位置。对于这些影响都仔细地进行了重新计算，可是天王星的运行轨道仍然不准确。因此，符合逻辑的结论是，在天王星以外，可能有一颗未知的行星对天王星施加着他们没有考虑到的引力吸引。

1841 年，英国剑桥大学一位 22 岁的数学系学生 J.C.亚当斯开始利用课余时间解决这个问题。1845 年 9 月，他终于计算出了那颗未知行星应有的位置，如果那颗行星那样运行的话，就能说明天王星轨道不准确的原因。可是，他的努力并未引起当时英国天文学家们的兴趣。

在同一时期，另有一位法国的年轻天文学家勒威耶也在独立地研究这个问题。他在亚当斯之后半年完成研究工作，得出了与亚当斯相同的结果。勒威耶非常幸运，他找到德国天文学家伽勒帮助检查他所指出的那片天区是否有一颗未知的行星。伽勒正好有一张那片天区的新星象图。伽勒于 1846 年 9 月 23 日夜晚开始搜寻，他和他的助手迪阿雷斯特仅用了一个小时就找到了一颗星象图上没有标示的八等星。

这正是那颗新行星！而且它的位置几乎就在计算出来的那个点上。由于它发出略呈绿色的光，所以就以海洋之神命名为海王星。亚当斯和勒威耶共同分享了发现海王星的荣誉。

海王星运行的轨道和太阳相距 4.5×10^{9} 公里，比天王星和太阳距离的一倍半还要多(相当于地球和太阳距离的 30 倍)。它绕太阳公转一周需要 164.8 年。

如同金星和地球是孪生姊妹一样(至少在大小上)，海王星和

天王星也可以说得上是孪生姊妹。海王星的直径是 49 500 公里，只比天王星稍小一点，但是密度比天王星大，质量比天王星多 18%。海王星的质量为地球的 17.2 倍，是绕太阳运行的第四颗气体巨行星。

海王星发现后不到 3 个星期，即 1846 年的 10 月 10 日，就发现了一颗海王星的卫星，并以希腊神话中海神的一个儿子的名字命名为特里同（中文名海卫一）。后来发现海卫一是又一颗大卫星，质量几乎与土卫六相等，是被发现的第七颗大卫星，也是从将近两个世纪以前发现土卫六以来发现的第一颗这样的卫星。

海卫一的直径有 3 860 公里（2 400 英里），略大于我们的月球；与海王星中心相距 355 600 公里（221 000 英里），和地球与月球间的距离差不多。但是由于海王星的引力比较大，所以海卫一的公转周期为 5.88 天，约是月球的 1/5。

海卫一是以逆向绕海王星公转的。它不是惟一的逆行卫星。可是，其他的逆行卫星（如土星最外层的卫星以及木星外层的 4 颗卫星），不但体积小而且距离环绕的行星都很远。海卫一是一个大而靠近它的行星的卫星。它为什么沿逆行轨道运行迄今仍是一个谜。

100 多年来，海卫一一直是海王星惟一已知的一颗卫星。1949 年，柯伊伯（即在头两年发现天卫五的那个人）观察到一个位于海王星附近的又小又暗的天体。这是另一颗卫星，被命名为涅瑞伊得（中文名海卫二）（涅瑞伊得是希腊神话中的海洋女神）。

海卫二的直径大约有 240 公里（150 英里），由西向东绕海王星公转。但它却是所有卫星中轨道偏心率最大的卫星。离海王星最近时有 139 000 公里（864 000 英里），最远时却可达 9 734 000 公里（6 050 000 英里），也就是说，它和海王星的远近距离相差 7 倍。它的公转周期为 365.21 天，只比我们地球的一年少 45 分钟。

海王星至今尚未有探测器到访过①,所以我们不知道海王星是否拥有其他的卫星或光环,这也就没有什么奇怪的了。既然土卫六有大气,海卫一也完全可能有大气,到底有没有大气,我们也不知道。

冥王星

海王星的质量和位置已经说明了天王星轨道的大部分误差。但是,要说明剩余的误差,一些天文学家认为还应该搜寻一颗比海王星更远的未知行星。最努力计算和搜寻这颗行星的就是洛威尔(即以发现所谓的火星运河而闻名的那个人)。

这次的搜寻工作确实有许多的困难需要克服。首先,这颗行星位于海王星之外,所以必定很暗,它会混同在同样暗的一般恒星之中;其次,这样一颗行星,它会移动得非常慢,因此会很难探测出它的位置变化。直到 1916 年洛威尔去世的时候,他也没有找到这颗行星。

但是,美国亚利桑那州洛威尔天文台的天文学家们,在洛威尔死后,继续了这项搜寻工作。1925 年,年轻的天文学家汤博接替了这项工作。他使用了一种新的望远镜,能够非常清晰地拍下大片天空的照片。

他还使用了**闪视比较镜**,这种仪器能够将相隔数日拍摄的同

---

① 1989 年 8 月,**旅行者 2 号**从距离海王星云端 4 800 公里的地方飞越,拍摄到海王星的详细情况,发现了 6 颗新卫星和 3 个光环,还发现海王星上有一巨大鹅卵形风暴,直径大约 1.28 万公里。海卫一是其拍摄的主要目标之一,发回的照片表明,海卫一是太阳系中惟一一颗真正的"蓝色卫星",在其赤道附近有一由冰冻的甲烷气体覆盖着的地带;海卫一的温度为 - 400°F,是现在知道的太阳系中最冷的天体;海卫一有大气,很薄,是由氮和甲烷气体构成的;海卫一上有活的冰火山,喷出液态氮。——译注

一星区的底片迅速地交替投影出来。调整底片,使每张照片上的星星都对准在同一点上。在底片一张接一张地显现过程中,真正的恒星位置会保持不变,但是,如果存在任何暗行星的话,它会迅速交替地改变位置,一会儿这里,一会儿那里,不停地闪动。

即使这样也不容易发现,因为一张底片上就会有数万颗星星,因此必须仔细地扫描每一部分,在数万颗星星中看有没有一颗在闪动。

终于在 1930 年 2 月 18 日的下午 4 点钟,汤博在研究双子座的一个区域时,发现了一颗闪动的星。在追踪了将近一个月之后,1930 年 3 月 13 日,终于宣布他发现了这颗新行星。由于这个行星远离太阳的光辉,所以依照地狱之神,把它命名为普卢同①(中文定名冥王星)。另外,这个名字的前两个英文字母也是洛威尔英文名字的两个字首②。

冥王星的轨道计算出来以后,发现有许多地方出人意料。它与太阳的距离并不像洛威尔和其他天文学家所预测的那么远。它与太阳的平均距离只有 5.9×10^9 公里,仅比海王星远 30%。

还有,它的轨道偏心率是所有行星中最大的。冥王星离太阳最远时为 74 亿公里(46 亿英里),最近时仅有 43.44 亿公里(27 亿英里)。

冥王星的近日点比海王星实际上近了 1 600 万公里(1 000 万英里)。冥王星的公转周期是 247.7 年,但是其中约有 20 年的时间比海王星更靠近太阳,而不是太阳系中最远的行星。碰巧,这个

---

① 即希腊神话的中冥王哈得斯,因为欧洲人忌讳说这个字,因此改称他为普卢同(财神)。

② 冥王星的英文名为 Pluto,洛威尔的英文名是 Percival Lowell。——译注

现象在20世纪的最后20年中会出现一次,也就是说,现在冥王星要比海王星更靠近太阳。

冥王星的轨道实际上并不与海王星的轨道交叉,但与其他行星相比要倾斜得多。冥王星的轨道对地球轨道的倾斜角约是17.2°,海王星仅稍有倾斜。所以,冥王星和海王星的轨道相交时,两者与太阳的距离相等,但一个远在另一个的下方。两个行星间的距离永远也不会少于24亿公里(15亿英里)。

最令人困惑的是冥王星出人意外的暗,这马上表明它不是一个气体巨行星。如果它的体积近于天王星和海王星的话,它应该比现在亮得多。初步推测它只有地球般大小。

即使这样似乎还是高估它了。1950年,柯伊伯设法使冥王星呈现为一个小光盘;他测量了小光盘的直径以后,认为它的直径只有5800公里(3600英里),比火星的直径小得多。一些天文学家不大相信这个估计,但是1965年4月28日,冥王星非常靠近一颗微弱的恒星,但并不掩它。如果冥王星的体积比柯伊伯所预计的大,那么它会使这颗恒星变得模糊。

于是,问题清楚了,冥王星非常小,它对天王星轨道的影响用任何方式也察觉不到。如果有一个遥远的行星可以说明天王星轨道的最后一点儿误差的话,那么这颗行星一定不是冥王星。

1955年,人们注意到,冥王星的亮度变化很有规律,每6.4天反复一次。人们推测它每6.4天自转一周——自转周期特别长。水星和金星的自转周期比冥王星更长一些,但它们靠近太阳,受到太阳的潮汐作用的强烈影响。冥王星自转周期长究竟有什么理由呢?

1978年6月22日的一项发现似乎提供了答案。这一天,美国天文学家克里斯蒂在仔细检查冥王星的照片时,发现其侧面有一个明显的肿块。最后他断定冥王星有一颗卫星。它和冥王星非

常靠近，两者中心相距 20000 公里（12500 英里）。在我们这么遥远的距离观察，间隔小得看不出来，因此迟延了这么长的时间才发现它。克里斯蒂将它命名为卡戒（中文名冥卫一），在希腊神话中他是冥河上引渡亡魂通往冥府的船夫。

冥卫一每 6.4 天绕冥王星公转一周，刚好是冥王星的自转周期。这并不是巧合。这必定是冥王星和冥卫一之间的潮汐作用使它们自转的速度互相减慢，直至始终保持同一面朝向对方。它们现在绕着共同的重心旋转，就好像用万有引力吸引在一起的两半哑铃一样。

这是惟一的哑铃式旋转的行星-卫星的组合体。就拿地球和月球来说，虽然月球永远以同一面对着地球，但是地球至今尚未慢到永远以同一面对着月球的程度，因为地球比月球大得多，所以自转的速度减缓得很慢。如果地球和月球的大小差不多的话，同样也会形成哑铃式的公转。

从冥王星和冥卫一彼此间的距离和公转的时间，可以推算出这两颗星的总质量：原来仅有月球质量的 1/8，比我们最少的估计还要小得多。

从两者的亮度比较来推断，冥王星的直径大概只有 2940 公里（1850 英里），和 7 颗大卫星中最小的木卫二差不多；冥卫一的直径有 1200 公里（750 英里），和土星的土卫四差不多。

这两颗星的大小相差并不太大，冥王星的质量大约只有冥卫一的 10 倍，而地球的质量是月球的 81 倍。这一大小的差别说明为什么冥王星和冥卫一哑铃式地互相公转，而地球和月球却不那样。冥王星和冥卫一是太阳系中最靠近的一颗“双行星”。直到 1978 年人们才认为地球和月球也是一颗“双行星”。

小行星群

火星轨道外的小行星群

在太阳系中,每一颗行星和太阳的距离都大约是前一颗的1.3～2.0倍,惟一的例外就是第五颗木星和太阳的距离为第四颗火星的3.4倍。

在天王星发现之后(此时新行星的可能性令人兴奋),天文学家们对木星和火星之间的特大间隔感到迷惑不解。在这个间隔里会不会有一颗行星,比方说,一颗第 $4\frac{1}{2}$ 行星,一颗一直未被发现的行星呢?德国天文学家奥伯斯领导一个小组计划系统地搜寻这样一颗行星。

当他们正在准备时,意大利天文学家皮亚齐在完全没有考虑新行星的情况下观看天空,无意中看到了一个每天都在改变位置的天体。从它移动的速度来估计,好像位于土星和火星之间;从它黯淡的程度来看,它的体积必定非常小。发现的那一天是1801年的1月1日,正好是一个新世纪的第一天。

德国数学家高斯根据皮亚齐的观察结果,成功地推算出了这个天体的轨道;它确实是颗新行星,轨道在火星和木星的轨道之间,恰好是使各个行星均匀分布所应该处的位置。因为皮亚齐的研究工作是在意大利的西西里岛上进行的,所以他特别将这颗新行星命名为刻瑞斯(中文名谷神星),罗马神话中古代意大利专司粮食的女神刻瑞斯与西西里岛有特别密切的联系。

从它的亮度和距离来推算,谷神星的确非常小,比其他任何一颗行星都小得多。最新的数字表明,它的直径大约是1000公里(620英里),质量大概是月球的1/50,比起较大的卫星就小得更

多了。

在火星和木星的间隔中似乎不可能只有谷神星一颗行星，因此虽然皮亚齐发现了谷神星，奥伯斯仍继续搜寻。到了 1807 年，果不其然，他在这一间隔里又发现了三颗行星。它们分别被命名为智神星、婚神星和灶神星。其中最小的是婚神星，直径仅有 97 公里(60 英里)。

这些新行星非常小，即使用当时最好的望远镜观察，它们也显现不出小光盘。它们一直是一些光点，就像恒星那样。所以W. 赫歇耳建议把它们叫做**小行星**，这个建议被采用了。

后来直到 1845 年，德国天文学家亨克才又发现了第五颗小行星，命名为阿斯特赖亚(中文名义神星，即小行星 5 号)。此后，新的发现接连不断。至今已经发现了 1 600 多颗，每一颗都比第一个被发现的谷神星小得多。它们几乎全都位于火星和木星的间隔之中，所以这个区域现在被称为**小行星带**。

为什么会有这些小行星存在呢？早期，当奥伯斯发现前 4 颗小行星时，他主张，这些小行星是一颗爆炸了的行星所留下的残余碎片。可是，其他的天文学家对这种可能性半信半疑。他们认为，这些小行星很可能是一颗未形成的行星的前身。在其他的区域里，一般的情形是，原始的星云物质逐渐聚合成星子(相当于小行星)，然后再慢慢聚合成单独的行星(最后聚合的那些星子会在行星表面上留下环形山标志)，但是在小行星带内，聚合永远不会超过星子阶段。人们认为，这是附近巨大木星的摄动效应造成的。

到了 1866 年，已发现的众多小行星足以表明，它们在这个间隔里的分布并不均匀。有些区域没有小行星的轨道。在平均距离太阳 37 000 万公里(23 000 万英里)、44 000 万公里(27 500 万英里)、49 000 万公里(30 500 万英里)、54 700 万公里(34 000 万英里)的地方没有小行星。美国天文学家柯克伍德 1866 年指出，在

这些轨道上,这些小行星绕太阳的公转周期是木星的公转周期的一个简单分数。在这种情况下,木星对小行星所产生的摄动效应会非常大,迫使在那里运行的小行星不是更靠近就是更远离太阳。这些**柯克伍德空隙**更清楚地说明,木星影响广泛,而且能够阻止聚合。

1906年,德国天文学家M.沃尔夫发现588号小行星后,进一步弄清了木星和小行星之间更为密切的关系。588号小行星之所以不寻常,是因为它运行的速度出人意料的慢,因此,它距离太阳也必定出人意料的远。实际上,它是目前我们所知道的最远的一颗小行星。它以特洛伊战争中的希腊英雄阿基里斯的名字命名。(一般为小行星取名时都是以女性的名字为主,只对那些具有特殊轨道的小行星才赋予男性的名字。)

仔细的观察证明,阿基里斯是在木星的轨道上运行,而且还超前木星60°。同一年的年底,又发现617号小行星,也是在木星轨道上,比木星落后60°。617号小行星被命名为帕特罗克卢斯,在荷马的史诗《**伊利亚特**》中,他是阿基里斯的朋友。后来发现这两颗星附近又分别群集了许多小行星,所有这些小行星都以特洛伊战争中的英雄人物来命名。木星、阿基里斯和帕特罗克卢斯是我们首次发现的3个天体分别位于等边三角形的3个顶点上稳定运行的实际例子。所以特别把这种状况称为**特罗央位置**,而这些小行星则称为**特罗央群小行星**。阿基里斯及其星群在L-4位置,而帕特罗克卢斯及其星群则占L-5位置。

看上去像是被木星俘获的那些木星外层卫星,可能曾经一度是特罗央群小行星。

而土星最外层的土卫十和海王星外层的海卫二想来也可能是被俘获的卫星,这表明在木星以外的区域至少也存在着零零星星的小行星。或许它们原来都在小行星带中,由于某种摄动,被迫外

移,终于被某个行星俘获。

例如,1920 年,巴德发现了 944 号小行星,他称之为希达尔戈。当计算出它的轨道以后,发现它远在木星以外运行,公转周期为 13.7 年,是小行星平均周期的 3 倍,甚至比木星的公转周期还长。

944 号小行星的轨道偏心率高达 0.66。在近日点时,它和太阳仅相距 30 600 万公里(19 000 万英里),所以它正好在小行星带内;而在远日点时,和土星到太阳的距离差不多,高达 144 000 万公里(89 500 万英里)。但是,由于它的轨道倾斜很厉害,以至当它在远日点时,它远在土星之下,因此没有被俘获的危险。然而在这种抛得很远的轨道上运行的其他小行星,可能会更靠近土星,而最终被土星或其他更外围的行星俘获。

难道没有一颗小行星因受引力摄动的影响永远在小行星带以远的轨道上运行吗? 1977 年,美国天文学家科瓦尔发现了一个在恒星背景上移动的非常暗淡的小光斑,但速度只有木星的⅓。它必定远在木星轨道之外。

科瓦尔继续追踪了它一段日子,计算出了近似的轨道,然后又从以前的底片上重新寻找它。他在大约 30 张底片上确定出它的位置,其中有一张底片是 1895 年拍摄的。这样他就能够画出这颗新星的精确轨道了。

结果表明这是颗相当大的小行星,直径大约有 190 公里(120 英里),最靠近太阳时,距离太阳大约和土星一样远,最远时可达到天王星与太阳的距离。它虽然穿梭于土星和天王星之间,但由于轨道是倾斜的,所以不会太靠近它们。

科瓦尔根据希腊神话中一个马人(半人半马)的名字,把它命名为半人马星。它的公转周期是 50.7 年,现在它在接近远日点的途中。再过 20 年,它和我们之间就会不到目前距离的一半,那时

我们就可以更清楚地看到它了。

掠地小行星和阿波罗天体

如果说小行星会超越出木星轨道的话,那么难道就没有进入火星轨道以内更靠近太阳的小行星吗?

第一个这样的例子是德国天文学家维特1898年8月13日发现的433号小行星。它的公转周期仅有1.76年,比火星的周期少44天。因此,它与太阳的平均距离一定比火星的距离小。这颗新小行星被命名为厄罗斯(中文定名为爱神星)。后来发现爱神星的轨道偏心率相当大。在远日点时,它深入小行星带中;但在近日点时,和太阳相距仅16 900万公里(10 500万英里),比地球远不了多少。因为它的轨道对地球的轨道倾斜,两个轨道不在同一平面上,所以不会太接近地球轨道。

尽管如此,地球和爱神星在最接近的时候,相距仅2 500万公里(1 400万英里),比金星到地球的最小距离的一半略多一点,就是说如果不考虑月球的话,在发现爱神星的时候,它是我们知道的最近的空间邻居。

爱神星的体积并不大,由亮度来判断,它的形状像砖块,平均直径约16公里(10英里)。虽然它这么小,却不可轻视。万一它与地球相撞那将是无法想象的大灾难。

1931年,爱神星和地球相距仅2 600万公里(1 600万英里),当时有一庞大的天文计划,要精确地测定它的视差,以便能够更精确地测定出太阳系的距离。这个计划成功了;直到有了从金星反射回来的雷达波束,才对这次测量的结果有所改进。

像这种能够比金星更靠近地球的小行星被称为**掠地小行星**(略有夸张)。在1898年~1932年,仅发现了3颗掠地小行星,都不像爱神星那样接近地球。

这个纪录直到1932年3月12日才被打破。那一天，比利时天文学家德尔波特发现了1221号小行星。他发现，虽然这颗小行星的轨道与爱神星的轨道相似，但它可以接近地球轨道至1600万公里（1000万英里）。他把这颗新小行星命名为阿莫尔（厄罗斯的拉丁名字）。

就在6个星期之后，1932年4月24日，德国天文学家莱因莫斯又发现了一颗小行星，他命名为阿波罗（小行星1862号），因为它是又一个掠地小行星。令人惊讶的是，它的近日点仅有9650万公里（6000万英里），不仅在火星的轨道以内，而且在地球轨道以内，甚至在金星轨道以内。但它的轨道偏心率非常大，在远日点时，和太阳距离34400万公里（21400万英里），比爱神星的最远点还要远。它的公转周期也比爱神星多18天。1932年5月15日，阿波罗所在的位置仅和地球相距1094万公里（680万英里），还不到月球和地球距离的30倍。这颗掠地小行星的直径不到1.6公里（1英里），但是对“掠地”来说，这已经是够大的了；从那以后，所有这种比金星更靠近太阳的小行星都称之为**阿波罗天体**。

1936年2月，曾于4年前发现小行星阿莫尔的德尔波特又发现了一颗掠地小行星，他命名为阿多尼斯（小行星2101号）。就在被发现的前几天，阿多尼斯刚刚从距地球240万公里（150万英里）的地方经过，只是月球与我们之间距离的6.3倍多一点。更有甚者，它的近日点是6600万公里（4100万英里），在那个距离时小行星离水星的轨道很近。这是发现的第二颗属于阿波罗天体的小行星。

1937年11月，莱因莫斯又发现了第三颗阿波罗天体，取名为赫米斯（小行星，无号）。它曾在80万公里（50万英里）的地方掠过地球，仅略大于月球距离的两倍。根据他掌握的资料，莱因莫斯计算出了大致的轨道，从这条轨道来看，如果赫米斯和地球都在它

们轨道上的适当位置的话,赫米斯会在离地球 306 000 公里(190 000 万英里)以内的地方通过(小于月球的距离)。不过从那以后再也没有观察到这颗小行星。

1949 年 6 月 26 日,巴德发现了一颗更奇特的阿波罗天体。它的公转周期为 1.12 年,偏心率高达 0.827,是目前已知小行星中偏心率最大的。在远日点时,它位于火星与木星之间的小行星带中,但在近日点时,和太阳的距离只有 2 850 万公里(1 770 万英里),比任何行星(包括水星在内)都更接近太阳。巴德把它叫做伊卡鲁斯(小行星 1566 号)。在希腊神话中,伊卡鲁斯是个青年,曾利用他父亲代达洛斯制作的翅膀飞入空中,因太靠近太阳,致使太阳熔化了粘合羽毛的蜡,而被摔死。

从 1949 年以来,又陆续发现了其他的阿波罗天体。有些公转周期不足一年,并且至少有一颗在其轨道的任何一点上都比地球更靠近太阳。1983 年,甚至还发现了一颗比伊卡鲁斯更接近太阳的阿波罗天体。

有一些天文学家估计,空间存在着大约 750 颗直径大于0.8公里(0.5 英里)的阿波罗天体。据估计,在今后的 100 万年中,将有 4 颗会撞上水星、火星或是月球;有 7 颗可能会改变轨道,完全离开太阳系。但是,阿波罗天体的总数会维持不变;也可能由于小行星带中天体的引力摄动,新的阿波罗天体会不断地增加。

彗　　星

彗星是太阳系中的又一族成员,有时会非常靠近太阳。在人们的眼中,彗星是一种横跨天空、光线柔和、云雾状的天体,样子就像我在第二章中提到的那种长着长尾巴或披散着头发的怪星,希腊人称之为**毛星**,我们今天仍称之为**彗星**。

彗星不像恒星或行星那样沿着容易预测的轨道移动，而似乎是来去无常，没有规律。在科学以前的时代，人们相信天上的星星与人类息息相关，这些飘忽不定的彗星似乎与生活中的怪事有联系，例如，未知的灾祸。

当天空出现彗星时，任何一个欧洲人都惊恐万状，直到1473年，情况才有改变。那一年，德国天文学家雷乔蒙塔努斯观察到了一颗彗星，并夜复一夜地把它相对于恒星的位置都记录了下来。

1532年，两位天文学家，一位是意大利的弗拉卡斯托罗，另一位是德国的阿皮安，仔细研究了那一年出现的一颗彗星，并且指出它的尾巴始终是背向太阳的。

到了1577年，第谷看到了一颗新出现的彗星，试图利用视差法测定出它的距离。如果按照亚里士多德的说法，彗星是一种大气现象，那么它的视差应该比月球的视差大。但是实验证明这个说法错了，因为这颗彗星的视差太小了，根本测量不到。彗星远在月球之外，必定是一种天体。

但是彗星的出没为什么会如此地不规则呢？1687年牛顿提出了万有引力定律之后，问题似乎清楚了，和太阳系中其他的天体一样，彗星也应受太阳引力的束缚。

1682年，天空中又出现了一颗彗星，牛顿的一位朋友哈雷记录了它越过天空的路径。在查阅早期的记录时，他想到，1456年、1531年和1607年的彗星走了一条同样的路径，这些彗星每隔75年或76年就会再来一次。

这使哈雷突然想到，彗星同行星一样绕太阳运行，但是在一个非常扁的椭圆形轨道上。它们大部分时间在非常遥远的远日点那部分轨道上，所以太远太暗无法看到，然后在比较短的时间内闪耀着通过近日点附近的轨道。彗星只有在这一段短时间内才能被看见；因为其他时间任何人也无法看到，所以显得来去不定。

哈雷预言,1682 年出现的那颗彗星到 1758 年将会回来。虽然生前他未能亲眼看到那颗彗星回来,但它真的回来了,1758 年 12 月 25 日首次被人们看见。由于它从木星附近通过时受到木星引力的吸引使它减慢了速度,所以回来得稍迟了一点儿。从此这颗特殊的彗星被称为哈雷彗星。后来它又于 1832 年及 1910 年回来过,并预计 1986 年还会再度出现。实际上,在 1983 年初,当它仍然非常遥远(但已开始接近地球)的时候,知道往哪里观察的天文学家们就已经看到它的非常朦胧的身影了。

此后又计算出了其他一些彗星的轨道,不过它们都是在行星系统内的短周期彗星。哈雷彗星的近日点在金星轨道以内,离太阳只有 8790 万公里(5460 万英里),远日点则在海王星轨道以外,离太阳 52.8 亿公里(32.8 亿英里)。

具有最小轨道的恩克彗星,公转周期为 3.3 年。它的近日点离太阳 5050 万公里(3140 万英里),与水星的距离不差上下。远日点则在小行星带的外层,离太阳 61100 万公里(38000 万英里)。它是我们所知道的惟一一颗轨道完全在木星轨道以内的彗星。

但是长周期彗星的远日点都远在行星系统以外,大约每百万年左右来太阳系一次。1973 年,捷克天文学家科胡特克发现了一颗引起大家关注的新彗星。原以为这颗彗星会格外明亮,实际上并不很亮。在近日点,它距离太阳仅 3770 万公里(2340 万英里),比水星还近。但是,在远日点,竟退到 5000 亿公里(3110 亿英里)之外,也就是相当于海王星与太阳距离的 120 倍(如果轨道计算正确的话),科胡特克彗星绕太阳公转一周要用 217000 年。毫无疑问,还会有更大的绕行轨道的彗星。

1950 年,奥尔特提出,从太阳向外延伸 $6.4\times10^{12}\sim1.29\times10^{13}$ 公里($4\times10^{12}\sim8\times10^{12}$ 英里)(科胡特克彗星远日点的

25倍)的广大空间,有上千亿个小天体,大部分直径为0.8～8公里(0.5～5英里)。它们的质量总和还不到地球的1/8。

这种物质是一种**彗星壳**,是在将近50亿年前形成太阳系时凝聚的原始气体尘埃云遗留下来的 彗星与小行星的区别在于,小行星本质上是岩石;彗星则主要是由冰样物质组成的,虽然在它们通常与太阳的距离时像石头一样坚固,但一旦接近某种热源,很快就会被蒸发。(1949年,美国天文学家F.L.惠普尔首先提出,彗星基本上是冰样天体,有一个岩石的核,或者到处分布着砾石。这个理论被人们称为**脏雪球理论**。)

在通常情况下,彗星呆在它们遥远的老家,以上百万年的公转周期绕着遥远的太阳缓慢地运行。然而,如果有一个偶尔的机会,由于碰撞或某些较近恒星的引力影响,有些彗星在非常缓慢地环绕太阳公转中加快了速度,从而完全脱离了太阳系。其他的彗星则速度缓慢,向着太阳运动,同时环绕太阳运行并回到它们最初的位置,然后再次下落。当这些彗星进入太阳系内部并从地球附近经过时,我们就能够看见它们。

因为彗星发生在一个球形的壳中,所以它们可以从任何角度进入太阳系内部,而且逆行的可能性和顺行的可能性是一样的。例如,哈雷彗星就是逆向运行的。

彗星一旦进入太阳系内部,太阳的热就会使组成彗星的冰样物质蒸发,从而释放出陷入冰中的尘埃。蒸气和尘埃形成彗星周围的朦胧大气(彗发),因而使彗星看上去像是一个巨大的有毛的东西。

于是,在完全冻结的时候,哈雷彗星的直径可能只有2.4公里(1.5英里)。当从太阳附近经过时,在哈雷彗星周围形成的雾状物,其范围直径可以高达40万公里(25万英里)。它占体积超过巨大木星体积的20倍,但是雾状物中的物质散布得非常稀薄,同雾

状真空一模一样。

从太阳发出的比原子(将在第七章中论述)还要小的微粒射向四面八方。这股**太阳风**冲击围绕着彗星的雾状物,把它们向外吹出一条长长的尾巴,这条尾巴可以比太阳本身的体积还要大,但其中的物质散布得更加稀薄。当然,正如弗拉卡斯托罗和阿皮安450年前所注意到的那样,这条尾巴总是背向太阳。

彗星每次绕过太阳,由于蒸发或从尾巴上流失,都会失去一些物质。最后,在经过太阳200次以后,彗星就全部分解成尘埃而消失。或者,留下一个岩石的核(如恩克彗星那样),最后看上去不过是一颗小行星。

在太阳系的漫长历史中,几百万颗彗星不是被加速从而被驱逐出太阳系,就是被减速而落入太阳系内部,最后衰亡毁灭。但是仍然还留有几万亿颗彗星,因此彗星没有绝迹的危险。

(朱　岚　译)

第四章　地　　球

地球的形状和大小

太阳系是由 1 个巨大的太阳、4 个巨行星、5 个较小的行星、40 多个卫星、10 万多个小行星以及大概 1000 亿多个彗星组成的。但是,据我们今天所知,这些天体中惟一有生命的就是我们的地球。既然如此,现在我们就来讲一讲地球。

地球是圆球形的

古希腊人重要的文化成就之一就是他们断定地球是圆球形的。他们最初是在哲理的基础上来表达这种思想的(通常认为这种思想是毕达哥拉斯在大约公元前 525 年时首先提出来的)。例如,当时的哲理认为,圆球是完美的形状。希腊人也曾通过观察来检验这种思想。公元前 350 年左右,亚里士多德获得的结论性证据证明,地球不是扁平的而是圆的。他最有说服力的论据是:当一个人向北或向南行进时,新的星星总是在前方的地平线上出现,而看到的星星总是在后面的地平线下消失。同样,出海的船只,不论朝什么方向行驶,总是船身首先消失;在月食的时候,无论月球处在什么位置上,地球在月球上的投影截面总是圆形。只有地球是一个圆球时这后两种情况才能发生。

至少在学者们中间,圆球形地球的观念从来就没有完全消失

过,即使在“黑暗时代”也是如此。意大利诗人但丁在他所写的集中体现中世纪观点的《**神曲**》中,就设想地球是圆球形的。

当提出地球是一个**转动着**的圆球的问题时,情况就完全不同了。早在公元前350年,希腊哲学家赫拉克利德斯就提出,设想地球绕其轴自转要比设想整个天穹绕地球公转容易得多。然而,大部分古代和中世纪的学者拒绝接受这种想法;而且直到1632年,伽利略还被罗马宗教法庭判了罪,被迫放弃他的地球在运动的观点。

尽管如此,哥白尼的理论使地球静止的说法完全不能成立,地球在缓慢旋转的理论逐渐为人们所接受。但是一直到了1851年,人们才通过实验真正证实了这种旋转。那一年,法国物理学家傅科在巴黎大教堂的圆顶下安装了一个巨摆。根据物理学家们的结论,不管地球怎样旋转,这样的巨摆都应该在一个固定的平面上保持摆动。例如,在北极,这个摆将在一个固定的平面上摆动,而地球在它的下面24小时不停地逆时针方向旋转。对观察摆的人来说(因为地球带着他旋转,所以在他看来地球是不动的),这个摆的摆动平面似乎每24小时顺时针方向整整转一圈。在南极,他会看到同样的情况,只是摆的摆动平面是逆时针方向转动的。

在两极以下的各个纬度上,摆的平面仍会转动(在北半球顺时针方向,在南半球逆时针方向),但离开两极越远摆动的周期越长。在赤道上,摆的摆动平面将没有任何变动

在傅科进行实验的过程中,摆的摆动平面正好是按照上面所说的方向和速率转动的。因此可以说,观察者能够亲眼看到地球在摆的下面旋转。

地球自转带来许多影响。地表在赤道上移动得最快,24小时必须绕完40000多公里的大圆圈,也就是说要以每小时1600多公里的速度移动。当一个人从赤道往北(或往南)走的时候,地表上的点必定会移动得越来越慢,因为在同样的24小时内必需绕完

的圈越来越小。靠近两极的地方,圈子非常小;而在两个极点上,地表一动不动。

地表上方的空气也随着地表一起运动。如果一个气团从赤道向北移动,它自身的速度(与赤道上的地表运动速度相适应)会大于它移向的那个地表的运动速度。它会超过由西向东运动的地表而向东漂移。这种漂移就是**科里奥利效应**的一个实例,法国数学家科里奥利于1835年首先研究过这种效应,因此用他的名字命名。

这种科里奥利效应对气团所造成的影响,就是使气团在北半球沿顺时针方向旋转;在南半球,这种影响正好相反,使气团产生逆时针方向的旋转。无论哪种情况,都会形成**气旋扰动**。这种类型的大风暴在北大西洋称为**飓风**,而在北太平洋则称为**台风**。在这类风暴中,范围较小却更为强烈的是**旋风**或**龙卷风**。在海面上,这些猛烈的旋转风会掀起巨大的**海柱**。

但是,在傅科实验之前两个世纪的牛顿时代,人们就从地球自转中得出最令人兴奋的推论。当时,认为地球是一个完美圆球的观念已经支配人们近2000年,但是牛顿却仔细地研究了这种圆球旋转时所发生的情形。他注意到,在不同纬度上,地表运动的速度不同,并且他考虑过这究竟意味着什么。

旋转越快,离心效应(即将物质从旋转中心推开的趋势)就越强。因此,可以得出这样的结论,离心效应从静止的两极为零向着快速旋转的赤道地带(达到最大)稳定地增加。于是,地球应在其中部向外鼓起的最多;换句话说,地球应该是一个**扁球体,赤道地区鼓起**而两极压扁。它必然大体上是一个橘子形而不是一个高尔夫球形。牛顿甚至计算出,两极的压扁度应当约为地球直径的1/230,令人惊讶的是这个计算结果与实际情况非常接近。

因为地球转得太慢,所以压扁和鼓起都很小,不容易被探测到。但是,甚至在牛顿时代,至少已有两项天文观测结果支持了牛

顿的推论。第一是科学家们清楚地看到木星及土星的两极明显压扁的现象,这在前一章中已经说过了。

第二,如果地球真是在赤道地区鼓起,那么,由于月球在绕地球运行过程中,大部分时间都位于地球赤道的南侧或北侧,因此月球对赤道地区鼓起部分不断变化的引力吸引,应该使地球旋转轴画出一个以地心为顶点的对顶锥,这样,两极指向天空的一个点在不断地改变位置。这个点画出一个圆,而极点就是围绕这个圆每25 750年整整转完一圈。事实上,早在公元前约150年,喜帕恰斯通过把他那个时代的星位与150多年前纪录的星位加以比较,发现了这种位移。地轴的位移会产生一种效应,使太阳每年通过二分点时会向东移50弧秒(在早晨的方向上)。由于二分点每年都是这样到达一个先前的(即较早的)点,故喜帕恰斯把这种位移现象命名为**岁差**,此名一直沿用至今。

科学家们很自然地开始搜寻地球畸变的更直接的证据。他们使用一种标准仪器来解决几何问题(三角测量法)。在曲面上,一个三角形的三个角的和大于180°,而且曲率越大超过180度的程度也就越大。现在,如果地球像牛顿所说的那样是个扁球体,那么,在赤道鼓起处曲率较大的曲面上比在两极附近曲率较小的曲面上超过180°的程度应该大一些。18世纪30年代,法国的科学家们分别在法国的北部和南部的一些地点进行过大规模的测量,第一次检验了这个设想。法国天文学家J.卡西尼(指出木星和土星呈压扁状的那位天文学家的儿子)根据这些测量结果断定,地球是在两极而不是在赤道鼓起!用一个夸张的比喻来说,地球的形状更像一根黄瓜而不是像一个橘子。

但是,法国北部与南部曲率的差异太小了,显然不足以给出明确的结果。于是,在1735年和1736年,两个法国考察队分别出发到两个相距遥远的地区——一队到赤道附近的秘鲁,另一队则到

接近北极的拉普兰。至1744年,他们的测量得出了一个清楚的答案:地球在秘鲁地区的曲率明显地大于拉普兰地区的曲率。

今天,最精确的测量表明,地球通过赤道的直径比通过两极的地轴长约43公里(约12 754公里对12 711公里)。

18世纪对地球形状的考察使科学界对测量技术的状况感到不满。当时没有可供精确测量用的合适标准。这种不满是半个世纪后(在法国大革命时期)采用**米制**的原因之一。米制是合理的并且是科学地制定出来的。如今,全世界的科学家都满意地采用了米制,而且除了美国之外,世界各国已经通用。

精确的测量标准十分重要。科学家们仍在继续作出很大努力以改进度量标准。标准米和标准千克是由铂-铱合金(不发生化学变化)制成的,非常小心地保存在巴黎郊区(主要是保持恒温,防止其膨胀或收缩)。

人们发现像殷钢(由镍铁以一定的比例组成)这样一些新合金几乎不受温度变化的影响。这种合金被用来制作更好的长度标准。瑞士出生的法国物理学家纪尧姆因发现殷钢而获得1920年的诺贝尔物理学奖。

然而在1960年,科学界放弃了长度的物质标准。国际度量衡会议一致同意用稀有气体氪的各种特定变化所产生的光的微小波长作为标准,严格地将其波长的1 650 763.73倍定为一米(光的波长的不变性比任何人造的东西要好得多)。现在这个长度标准比以前的标准要精确1 000倍。1984年,把米制与光速联系起来,将米视为光在几分之一秒中所走的距离。

大地水准面的测量

经过整平处理的地球的海平面形状叫做**大地水准面**。当然,地球表面凹凸不平,很不规则,有高山、深谷等等。甚至在牛顿提

出地球整个形状的问题以前,科学家们就曾设法测定这些局部的偏离一个完美圆球(他们就是这样认为)的程度。他们使用了一种悬摆装置。1581 年,当伽利略还是一个 17 岁孩子的时候,他就发现,一个给定长度的摆,无论它的摆幅是短还是长,几乎总是在相同的时间内完成一次摆动。有人认为,伽利略是在做礼拜时观察比萨大教堂里摆动着的吊灯而得到这个发现的。比萨大教堂里是有一盏灯,现在仍叫做**伽利略灯**,但那是直到 1854 年才悬挂上去的。(惠更斯把一个摆悬挂在一个钟的齿轮上,利用摆运动的恒定性来使这个钟走得更准。1656 年,他用这种方法设计了第一个现代钟即**祖父钟**,一下子把计时的精确度提高了 10 倍。)

摆的摆动周期既取决于摆的长度,也取决于重力。在海平面上,一个长度为 99.314 厘米的摆正好 1 秒钟摆动一次,这是伽利略的学生、法国数学家梅森 1644 年计算出来的。一个摆的摆动周期取决于某一给定地点的重力强度,人们利用这个事实来研究地球的不规则性。例如,一个摆在海平面上摆动周期正好为 1 秒,如果在山顶上,摆动周期就会稍微多于 1 秒,因为山顶离地心稍远,因而重力略弱一点。

1673 年,一支法国考察队到达了南美洲的北海岸(靠近赤道),该队人员发现,在那个地方,即使在海平面上摆的摆动也慢了。后来牛顿把这个发现作为赤道地区鼓起的证据,因为鼓起使营地远离了地心,从而减弱了重力。在考察队到达秘鲁和拉普兰证实了牛顿的理论以后,一位去拉普兰考察的队员、法国数学家克来罗研究出一些根据摆的摆动快慢来计算地球扁率的方法。这样一来,大地水准面或者地球的海平面形状就能够测定了,结果证明,地球略微偏离一个完美的扁球体,各个地点相差不到 92 米。现今,重力也可以用**重力仪**来测量。重力仪是一种悬挂在非常灵敏的弹簧下面的重物。该重物相对于背景上的标度所处的位置表

示它被下拉的力的大小，从而能够非常精细地测出重力的变化。

重力在海平面上的变化幅度约为0.6%，当然，在赤道上重力值最小。这种差异在日常生活中并不明显，但它会影响运动员的成绩。奥运会上的成绩在一定程度上取决于举办奥运会的城市所处的纬度(和高度)。

了解大地水准面的确切形状对精确制图是非常重要的。迟至20世纪50年代，只有7%的陆地表面可以说是真正作过精确制图。例如，原来并不知道纽约到伦敦之间的距离误差有2公里，而仅仅知道太平洋中一些岛屿之间的距离误差可达数公里。在现今空中旅行和潜在的导弹瞄准的时代，这样的误差幅度是非常不利的。目前已有可能进行真正精确的制图，但是说来也怪，这不是通过地球表面的测量，而是采用新的天文学测量方法做到的。这些新的测量的第一个装置是1958年3月17日美国发射的**先锋1号**人造卫星。**先锋1号**以$2\frac{1}{2}$小时的周期绕地球运行。在运行的头两年中，它绕地球的圈数已经超过在好几个世纪里用望远镜观测过的月球绕地球运转的圈数。通过在特定的时间从地球上某些特定的点观察**先锋1号**的位置，就能够精确地计算出这些观察点之间的距离。以前不知道各点的位置和距离误差为数公里，1959年用这种方法测定的误差小于100米。(1960年4月13日美国发射了另一颗名为**子午仪1-B号**卫星，是为把这项测量扩展成一个精确测定地球表面各点位置的系统而特意发射的一系列卫星中的第一个，能够极大地改进和便利航空和航海。)

像月球一样，**先锋1号**以不是处在地球赤道平面上的一个椭圆形轨道绕地球运行。由于赤道鼓起地区的吸引，**先锋1号**的近地点经常移动，这一点也与月球相似。因为**先锋1号**远比月球靠近地球的鼓起处，而且比月球小得多，所以受影响的程度也较大；

又因为它绕地球的圈数很多,所以人们可以很好地研究赤道地区鼓起的影响。至 1959 年,人们已经确定,**先锋 1 号**的近地点移动在北半球与在南半球不同,因此,这种鼓起部位相对于赤道来说并不完全是对称的。赤道以南某些点的鼓起似乎比赤道以北某些点的鼓起高出 7.6 米(也就是离地心远了 7.6 米)。进一步的计算表明,南极离地心的距离比北极少 15.2 米(从海平面算起)。

1961 年,根据**先锋 1 号**和**先锋 2 号**(1959 年 2 月 17 日发射)轨道得到的更多的数据表明,赤道的海平面并不是一个完美的圆圈。一些地方的赤道直径比另一些地方长 426 米。

新闻报道一直把地球描写成"梨形",把赤道描写成"鸡蛋形"。实际上,这种偏离完美的平滑曲线的情形只有通过最精细的测量才能觉察出来。人们从空间观看地球时,看不到任何像梨或像鸡蛋的情形,而只看到一个完美的圆球。此外,对大地水准面的仔细研究显示出许多稍具压扁和略微鼓起的地区,如果一定要形象地描述地球的话,说它"凹凸不平"比较好。

最后,人们利用人造卫星,甚至采用直接详细拍摄地球表面照片的方法,有可能绘制出误差仅为几米的世界地图。

飞机和轮船过去一般都是参照星座来确定其方位的,现在终于可以通过接收**导航卫星**发射的信号来判断了。因为微波可以穿透云和雾,所以不受气候的影响。就连在海面以下的潜水艇也可以这样做。这样确定的方位非常精确,以致可以计算出一艘远洋定期客轮的驾驶台和厨房之间位置的差异。

地球重量的测定

知道了地球的确切大小和形状就可以计算出它的体积。地球的体积约为 1.083×10^{27} 厘米^3。然而,要计算地球的质量就复杂多了,但是牛顿的万有引力定律给了我们一些启发。根据牛顿定律,

宇宙中任何两个物体之间的引力(f)可以用下面的公式来表示：

$$f=\frac{gm_1m_2}{d^2}$$

式中 m_1 和 m_2 是两个有关物体的质量，d 是它们之间的距离(从中心到中心)，g 是引力常数。

这个常数的值是多少，牛顿说不上来，但是，如果我们知道了式中其他各项的值，我们只要把式中的各项移动一下就可以求出 g 的值：

$$g=\frac{fd^2}{m_1m_2}$$

因此，在已知两个物体的质量和它们分开的距离的条件下，要求出 g 值，只要测出这两个物体之间的引力就行了。麻烦的是，引力是我们所知道的一种最弱的力，而且我们能够操作的一般大小的任何两个物体之间的引力几乎是无法测定的。

虽然如此，1798 年，英国物理学家卡文迪什终于设法进行了这种测量。卡文迪什是一位富有而又神经过敏的天才。他一生过着隐居的生活却做出了科学史上一些最精明的实验。他在一根长杆的两头各装上一个质量已知的小球，再把这个哑铃状的奇妙装置悬挂在一根细线上。然后，他在紧靠长杆两头的每个小球的附近各放上一个较大的质量也已知道的球，这样，固定着的大球同悬挂着的小球之间的引力会使水平悬挂的哑铃转动而扭转细线(见图 4 - 1)。哑铃当然也会发生轻微转动。卡文迪什接着测量使细线产生这样的扭转量需要多大的力。这样他就得到了 f 的值。他还知道 m_1 和 m_2(大球和小球的质量)以及 d(相互吸引的两球之间的距离)。所以他能够计算出 g 的值。一旦算出了 g 的值，他就能够计算出地球的质量了，因为地球对任一给定物体的引力都是可以测量出来的。就这样，卡文迪什第一次“称出”了地球的

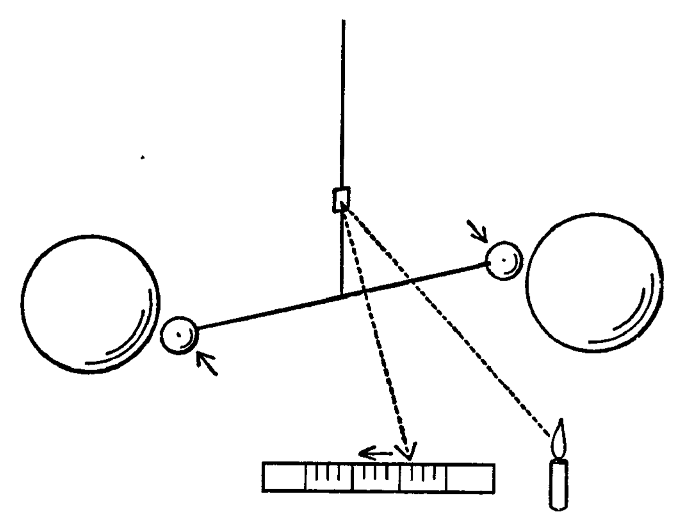


图 4-1　卡文迪什测量引力的装置。两个小球被两个大球所吸引，使悬挂两个小球的细线扭转。细线的这种微小扭转量由小镜子反射到标度上的光的偏移量显示出来

重量。

此后的测量精度大为提高。1928 年，美国标准局的物理学家海尔测定 g 的值为 0.000 000 066 73 达因·厘米^2/克^2，后来又精确到 0.000 000 066 726 达因·厘米^2/克^2。你不必关心那些单位，但要注意这个数字是多么小，而它就是度量微弱万有引力的标准。如果有两个重 454 克的物体相距 30.48 厘米，那么它们相互间的引力只有 10 亿分之 14 克。

在距离地心 6 371 公里的地方，地球自身还能以 454 克的力吸引这样重的物体，这个事实有力地说明地球的质量是多么大。事实上，地球的质量是 5.976×10^{27} 克。

根据地球的质量和体积，很容易求出地球的平均密度，计算的结果是 5.518 克/厘米^3(是水密度的 5.518 倍)。地球表面岩石的

密度平均为 2.8 克/厘米^3,因此,地球内部的密度一定比这大得多。密度是不是从地表到地心一直在平稳地增加呢?由地震研究得出的初步证据表明,情况并不是这样的,地球是由一系列不同的层圈组成的。

地球的层圈

地震

能够在 5 分钟之内使成千上万的人丧生的自然灾害并不多。在这些自然灾害中,最常见的就是地震。

地球每年发生 100 万次地震,其中至少有 100 次严重地震和 10 次灾害性地震。最残酷的一次可能是 1556 年发生在中国陕西省北部的地震,有 83 万人死亡。其他伤亡惨重的地震也是发生在远东。1703 年 12 月 30 日日本东京地震,死亡 20 万人;1937 年 10 月 11 日印度加尔各答地震,有 30 万人丧生。

虽然在那些年代科学正在西欧发展,但对在世界另一方发生的事件并未加以注意。但是接着在非常靠近他们的地方发生了一场大灾难。

1755 年 11 月 1 日,里斯本城发生了可能是近代最强烈的一次大地震,城南部的房子全部被毁。接着所谓的**潮波**也从海上涌了进来。跟着又发生了两次地震,并引起大火。有 6 万人丧生,里斯本城一片破坏景象。

将近 400 万平方公里的地区都感觉到了这次地震,对摩洛哥和葡萄牙也造成了重大损失。因为那一天是万灵节,人们正在做礼拜,据说整个欧洲南部在教堂里的人都看见教堂里的吊灯跳舞般地摇晃。

里斯本灾难给当时的学者以极其深刻的印象。那是一个乐观

的时代,许多思想家认为,伽利略和牛顿的新科学会给人类带来将地球变为天堂的方法。这次打击表明,自然界还存在着一些巨大的、无法预知而且很明显不是人类所能控制的破坏力。这次地震激发了当时的大文豪伏尔泰的灵感,使他写下了著名的悲观主义讽刺作品**《天真汉》**,讽寓世人不要认为在这个最美好的世界上一切都会是美好的。

人们习惯地认为,干燥的陆地会因地震的影响而晃动,但是在洋底下面的地壳也同样会发生振动,而且造成更大的破坏性后果。这样的振动会在海洋中形成长而缓和的涌浪,这种涌浪到达大陆附近的浅大陆架时,特别是被涌进港口的狭小区域时,就会形成高大的水柱,有时高达 15 米～30 米。如果这种海浪在没有预报的情况下突然袭来,成千上万的人就会被淹死。这种由地震引起的波浪,通常被称为"潮波",但这是一个误称。它们虽然与巨大的潮汐相似,但它们的起因却完全不同。现在,人们称之为**海啸**。这个名字源自日本,因为日本的沿海特别容易受到这种海浪的袭击。

在里斯本遭到地震加海啸的灾难之后,科学家们开始认真思索造成地震的可能原因。古希腊最好的理论是亚里士多德提出来的(当时还有人认为地震是由被囚禁在地下的巨人发怒造成的,我们暂且撇开不谈),他认为地震是由气团引起的,这些气团被闷在地下想逃逸出来。但是,现代科学家们认为,地震可能是地球内部的热对固体岩石内部的应力发生影响的结果。

英国地质学家米歇尔(他研究过有关**扭转**的力,后来卡文迪什就是利用这种扭转的力测量出了地球的质量)1760 年提出,地震是地表以下数公里的岩体移动所造成的波动,而且他首先提出,海啸是海底地震的结果。

为了更好地研究地震,必须制造出一种能发现并检测地震波的仪器,这种仪器直到里斯本地震后 100 年才被研制出来。1855

年,意大利物理学家帕尔米里设计出第一台**地震仪**①。

帕尔米里发明的仪器由一根两端上弯的水平管子并在管内装一些水银组成的。只要地面震动,水银就从一端流到另一端。当然,它不仅能够测到地震,而且能够测到其他任何一种振动,如附近马路上马车的振动。

1880 年,英国工程师米尔恩设计出一种更好的装置,这种装置成为以后使用的地震仪的始祖。5 年前,他曾到东京教授地质学与采矿,因为日本经常发生地震,所以他有很多机会进行研究,这种地震仪就是他的研究成果。

米尔恩的地震仪形式非常简单,把一个重物挂在一个弹性较弱的弹簧上,把弹簧的另一端装在一个支座上,再把支座牢牢地固定在基岩上。当地球移动时,被悬挂的重物由于惯性而保持静止。但是,固定在基岩上的弹簧则会随着地球的运动而略有伸缩。这种运动的情形通过装在静止重物上的笔就可以记录在缓慢转动的滚筒的烟熏纸上。现在实际上使用两块重物:一块记录南北走向的地震波;另一块记录东西走向的地震波。一般的振动,因为不是源自于基石,所以对地震仪没有影响。现今,最精密的地震仪,如福德姆大学的地震仪,用光束代替笔,以避免笔在纸上产生摩擦阻力。光束照射在感光纸上,使这些痕迹经显影变成照片。

米尔恩推动世界各地特别是日本建立起一些地震及相关现象的观测台。到 1900 年,地震观测台已有 13 个,现在有 500 多个,分布在各大洲,包括南极洲在内。在其中第一个观测台建成后不到 10 年的时间里,就证实米歇尔关于地震是由通过地球体传播的震波引起的论断是正确的。

---

① 我国东汉时期科学家张衡在公元 132 年创制的候风地动仪是世界上最早的地震仪器。——译注

对地震这种新的了解并不意味着地震发生的频率减少或者地震灾情减轻。事实上,在20世纪70年代发生了多次严重地震。

1976年7月28日,中国的一次地震毁掉了北京以南的一个城市,约有65万人丧生①。这是自400年前陕西地震以来最严重的一次地震灾害。在危地马拉、墨西哥、意大利、菲律宾、罗马尼亚和土耳其也发生了严重地震。

这些地震并不表示我们居住的地球越来越不稳定。现代的通信方法能够保证我们听到世界各地发生的一切地震——通过电视往往还可以看到地震的现场。而在过去(甚至一二十年以前),对远方的灾难未予报导或未曾注意到。更重要的是,现在的地震灾害很可能比过去(甚至1个世纪以前)的严重,因为现在地球上的人口越来越多,城市的人口更加密集,同时因为人造的容易被地震破坏的建筑物数量极大而且花费极多。

因此,人们更有理由要求研究出预报地震的方法。地震学家正在寻找各种明显的变化。有些地方地面可能隆起。岩石可能被拉开或挤在一起,往里吸水或把水挤出来,因此井水的升降可能会很明显。岩石的天然磁性和电导率也会发生变化。动物可以觉察到微小的振动或环境变化,人类则因为太忙而对这些未加注意,因此动物在震前会有紧张的反应。

中国人特别喜欢收集所有异常现象的报告,甚至连油漆剥落的现象也收了进去,据报道,对中国东北1975年2月4日发生的一次地震②事先作了预报。于是人们离开他们的家到城外空旷的地方,因此拯救了数千人的性命。但是,1976年那次更为严重的地震却没有预测出来。

---

① 指唐山一带的地震,死亡242 000人,重伤164 000人。——译注

② 指辽宁省海城地震。——译注

除非预报比现在的更准确，否则预报会得不偿失，这种说法也不无道理。错误的警报会干扰生活，引起经济混乱，所受的损失比一次小的地震还要大。而且，在作出一两次错误的预报之后，正确的预报也可能被忽视。

一次地震所能造成的破坏并不惊人。据估计，最大的地震释放出来的全部能量等于 10 万个普通原子弹或者 100 个大型氢弹。只是因为地震的能量分散在大片的地区，所以才没有那么大的破坏力。地震能使地球像一个巨大的音叉那样振动。1960 年智利大地震就使地球以每小时不到一次的频率振动（比中音阶 c 低 20 个八音程，因此根本听不到）。

地震烈度是以 0～9 的震级来测量的，每一级所代表的释放能量大约是比它低的一级所释放能量的 30 倍。（到目前为止，还没有记录到烈度超过 9 级的地震，但 1964 年阿拉斯加大地震记录下的烈度为 8.5 级。）这种震级叫做里克特震级，因为它是美国地震学家 C.F. 里克特 1935 年提出的。

地震有一个令人安慰的方面，就是并不是整个地球表面都会同样地受到地震的威胁（尽管这对生活在地震危险地区的人起不到安慰作用）。

大约 80％的地震能量释放在靠近浩瀚的太平洋的地区。另外有 15％释放在跨越地中海的一条东西向的地带中。这些地震带（见图 4－2）与火山区有着密切的联系——这正是地球的内部热效应与地震伴生的一个原因。

火山

虽然在大多数情况下火山的影响局限于较小的区域，但火山仍然和地震一样是一种可怕的自然现象，而且持续的时间更长。已经知道历史上活动过的火山大约有500座，其中2/3发生在太

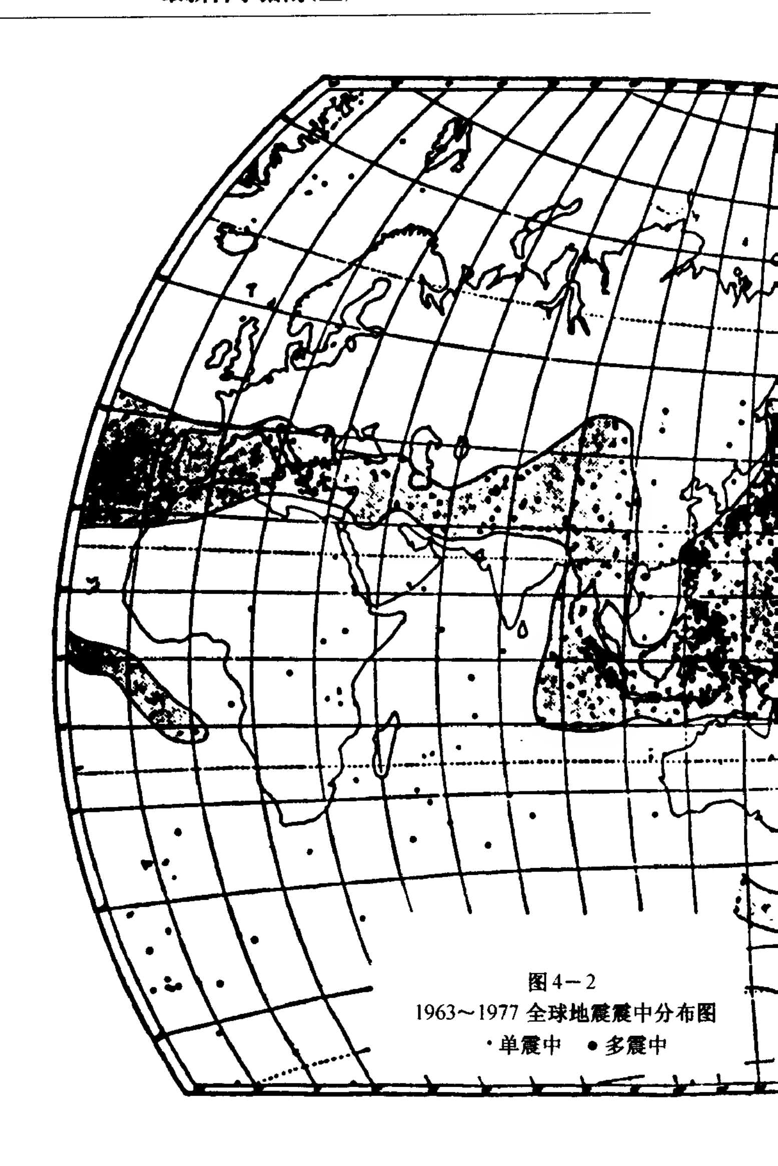
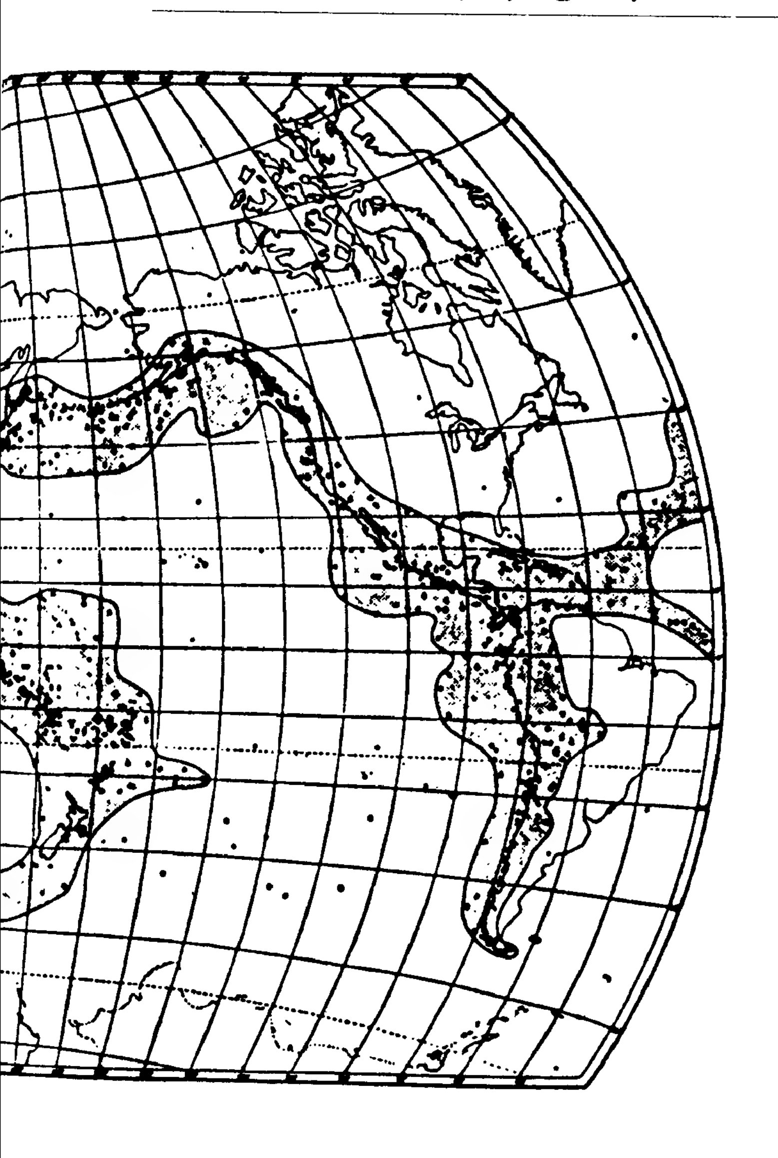


图4－2
1963～1977 全球地震震中分布图
·单震中　●多震中



平洋边缘。

在极少数情况下，当火山捕获大量的水并使之过热时，就会发生骇人的灾难。1883 年 8 月 26 日至 27 日，位于苏门答腊和爪哇之间海峡中的东印度喀拉喀托小火山岛上爆发出一声巨响。这声巨响被形容为有史以来地球上发出的最大声响，在距离 5000 公里的地方人们凭耳朵就能听到，而且全世界的仪器都可以收到。这次发出的声波绕地球转了好几圈。大约有 21 立方公里的岩石被粉碎并抛向空中，散落在 77 万平方公里的地区。火山灰使数百平方公里的天空昏暗无光，而留在同温层的灰尘几年内使日落的景色格外辉煌。30 多米高的海啸使爪哇和苏门答腊沿岸的 36000 名居民丧生，这次海啸世界各地都容易探测到。

3000 多年前在地中海可能发生过类似的事件，后果更为严重。1967 年，美国考古学家在克里特以北 130 公里的锡拉岛上发现了一座被火山灰覆盖的城市遗址。显然，大约在公元前 1400 年，这里有同喀拉喀托岛一样的一次火山喷发，而且力量更大，声音可能更响，因而造成的灾害更为惨重。由此引起的海啸袭击了克里特岛。当时克里特岛是一种历史悠久并令人赞美的文明的摇篮。这次致命的打击使这种文明再也没有复兴起来。克里特人对大海的控制完全消失了，继之而来的是一个动乱而黑暗的时期；恢复工作延续了好几个世纪。锡拉岛突然消失的景象一直留在幸存者的脑海中，它的故事经过人们的艺术加工一代一代流传下来。在锡拉和克里特文明灭亡以后大约 11 个世纪，柏拉图讲述的亚特兰蒂斯岛的故事可能就是由此引起的。

世界历史上最有名的一次火山喷发如果与喀拉喀托岛和锡拉岛的火山喷发相比也许是很小的。这就是发生在公元 79 年的维苏威火山喷发（在此之前人们认为这是一座死火山），这次喷发掩埋了罗马的两个胜地——庞培城和赫库尔兰努姆城。著名的百科

全书编纂家普林尼就是死于这次灾难，这是他的侄子小普林尼亲眼所见而记载下来的。

1763 年以后对这两座被掩埋的城市开始进行认真地发掘。这为人们研究在古代最繁荣时期存在的一个城市的比较完整的遗迹提供了一次难得的机会。

另一种不寻常的现象就是平地上突然出现一座新火山。1943 年 2 月 20 日在墨西哥就看到了这种可怕的事情。那一天，在墨西哥城以西 320 公里的一个村庄（帕里库廷）的一块一直非常平静的玉米地里，一座火山冒了出来，8 个月的时间内就形成了一个高达 460 米的火山灰堆。当然这个村子只好放弃了。

总的来说，美国人对火山喷发一直没有清楚的认识，因为火山似乎都发生在外国。诚然，最大的活火山在夏威夷岛上，这个岛已归属美国 80 多年，成为美国的一个州也已有 30 多年。岛上的基拉韦厄火山有一个面积为 10.36 平方公里的火山口，经常喷出熔岩。但这些喷发从来不是爆发性质的，熔岩周期性地溢出，流动缓慢，很少危及生命，当然有时也会毁坏部分财产。1983 年这座火山格外活跃。

喀斯喀特山脉沿着太平洋海岸线分布（深入内陆约 160 公里～241 公里），从美国加利福尼亚州北部延伸到加拿大不列颠哥伦比亚省南部，有许多著名的山峰，如胡德山和芒特雷尼尔，都是已知的死火山。因为它们不活动，所以人们很少注意，但是一座火山可以停止活动数百年，然后突然喷发，恢复活力。

华盛顿州中南部的圣海伦斯火山使美国人对这个事实有了清楚的认识。在 1831 年～1854 年，这座火山曾经是一座活火山，但是当时在那里居住的人不多，因此详细情况不清楚。在以后的 103 年中，这座火山一直非常平静。但是 1980 年 5 月 18 日，在一阵隆隆的响声和震动以后，火山突然喷发。有 20 人没有注意要求

离开这一地区的最初警告而丧生，据报道有 100 多人失踪。从那时起这座火山一直活动着，虽然火山喷发不是那么大，但这是长久以来美国相邻 48 个州的第一次火山喷发。

火山喷发所造成的不只是直接的生命伤亡。在巨大的火山喷发中，大量的灰尘被抛到高空进入大气层，可能要经过多年这些灰尘才会沉落。在喀拉喀托火山喷发后，由于灰尘长时期使落日的光线发生散射，因此呈现出灿烂的日落景象。这些灰尘能够反射阳光，使到达到地球表面的太阳热量一度减少，因而会产生一种不利的影响。

有时延迟效应影响区域较小，但破坏性很大。1783 年，冰岛中南部的拉基火山喷发。在两年的喷发中，熔岩的最终覆盖面积达 570 平方公里，但直接损失很小。然而，火山灰和二氧化硫几乎喷散到整个冰岛，甚至到达苏格兰。火山灰使天空变暗，农作物因得不到阳光而死亡。二氧化硫气体使岛上 3/4 的家畜死亡。没有了农作物，动物也死了，有 10000 名冰岛人(占冰岛总人口的 1/5)饿死或病死。

1815 年 4 月 7 日，爪哇以东一个小岛上的坦博拉火山喷发。154 立方公里的岩石和灰尘被喷向高空大气层。因此，阳光被反射的程度比平时大得多，地球上的温度有一年左右比往常低。例如，在新英格兰，1816 年特别冷，那一年每月都有一阵冰冻，甚至 7、8 月份都有冰冻，因此被称为“没有夏天的一年”。

有时火山造成直接伤亡，但不一定是由熔岩甚至火山灰造成的。1902 年 5 月 8 日，西印度群岛马提尼克岛上的培雷火山喷发，产生了由炽热气体和浓烟组成的一层厚云。这些气体顺着山坡快速下泻，并且一直向着这个岛上的主要城镇圣皮埃尔飘去。结果在 3 分钟内，城内 38000 人窒息而死。惟一的幸存者是关在地下监牢的一名罪犯，如果不发生这次意外的话，他将在当天被处

以绞刑。

地壳的形成

关于火山及其在形成大部分地壳中的作用的近代研究，起始于18世纪中叶的法国地质学家盖塔。18世纪末，德国地质学家维尔纳有一个时期曾单枪匹马地提倡一种错误的观念，他认为，大部分岩石是在地球表面都是大海沉积时而成的(**水成说**)。但是，绝大多数证据，特别是赫顿提出的证据，使人们确信，大部分岩石都是通过火山作用形成的(**火成说**)。火山和地震似乎都是地球内能的表现形式，这种内能主要来源于放射性(见第七章)。

当地震仪使人们能够仔细研究地震波时，人们发现最容易研究的地震波可分为两大类：**面波**和**体波**。面波沿着地球的曲面行进；体波穿过地球内部。因为体波走的是捷径，所以一般总是先到达地震仪。这些体波又可以分为两种：纵波(**P 波**)和横波(**S 波**)(图 4-3)。同声波一样，纵波是通过介质的交替压缩和膨胀而传播的(就像拉手风琴那样交替地推合与拉开)。这种震波可以通过任何介质——固体或液体。相反，横波则以人们所熟悉的蛇行的方式蜿蜒前进，蜿蜒的方向垂直于前进的方向。横波不能通过液体或气体。

纵波比横波传播得快，因此先到达地震台。根据横波的时滞，就可以计算出地震的距离。地震的地点或震中(岩石扰动正上方地面上的点)可以利用3个或3个以上地震台所测得的距离数据准确地确定出来：用这三个半径画出的三个圆在一个点上相交。

实验室研究表明，不论是纵波还是横波，其速度都受岩石种类、温度和压力的影响。因此，可以把地震波作为了解地表深处情况的探测器。

纵波在地表附近传播的速度为每秒8公里；从到达的时间来

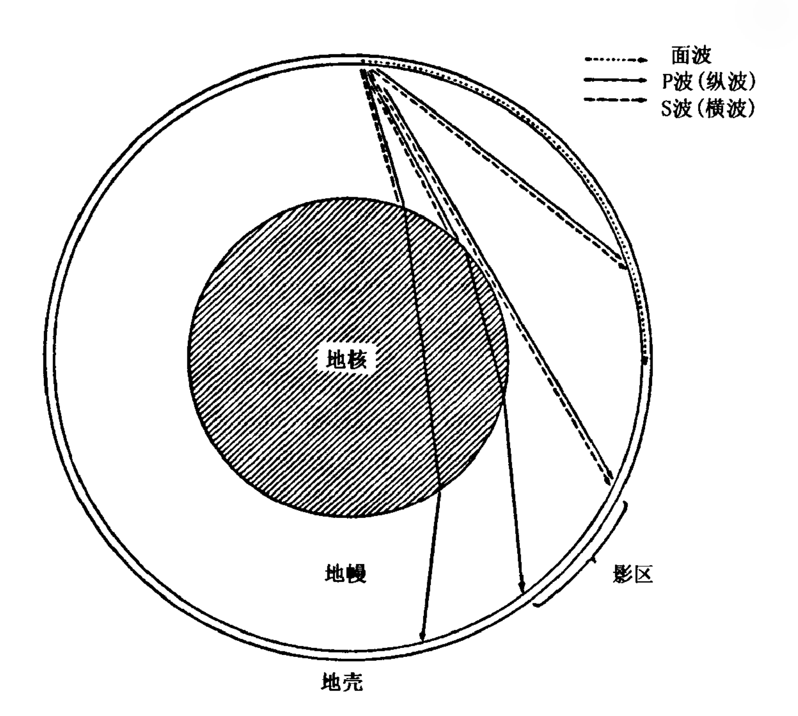


图 4-3 地震波在地球内部的传播路线。面波沿地壳传播。液态地核使体波的纵波折射。横波不能穿过地核

判断,在地表以下 1600 公里深处,纵波速度必定接近每秒 13 公里。同样,横波在地表附近的速度小于每秒 5 公里,在 1600 公里深处,速度为每秒 6.4 公里。因为速度增加是密度增加的一种度量,因此,我们可以计算出地表下面岩石的密度。前面已经讲过,地球表面的平均密度为 2.8 克/厘米^3;在 1600 公里以下,达到 5 克/厘米^3;在 2900 公里以下,接近 6 克/厘米^3。

在 2900 公里的深处,有一个突然的变化。低于这个界面,横波不再传播。因此,1906 年,英国地质学家奥尔德姆认为,这个界面以下的区域是液态的;地震波已经到达**液态地核**的边界。同时,

纵波到达这一界面的传播的方向急剧改变；显然，纵波进入液态地核时被折射。

液态地核的边界以美国地质学家古滕贝格的名字命名，称为古滕贝格不连续面 1914 年，古滕贝格确定了这个边界，并证明液态地核从地心向外延伸 3475 公里。1936 年，澳大利亚数学家布伦根据地震数据计算出了地球各个深层的密度。1960 年，智利大地震提供的数据证实了他的计算结果。因此我们可以说，在古滕贝格不连续面上，物质密度由 6 克/厘米³ 直接增加到 9 克/厘米³，因而到达地心时密度平稳地增加到 11.5 克/厘米³。

液态地核

液态地核的性质是怎样的呢？在地核的温度和压力条件下，它一定是由密度为 9～11.5 克/厘米³ 的物质组成的。据估计，地核的压力介于顶部的 1550 吨/厘米² 与地心的 3880 吨/厘米² 之间。地核的温度知道得还不确切 根据已知的深矿坑中温度随深度增加的比率以及岩石的导热率，地质学家们估计(粗略地)，液态地核的温度一定高达 5000℃。(比地球大得多的木星的中心温度可能高达 50000℃。)

地核的物质一定是某种常见元素，这种元素是如此普遍以致足以组成一个有地球一半直径并有其 1/3 质量的圆球。宇宙中最常见的惟一重元素就是铁。在地表，铁的密度只有 7.86 克/厘米³；但是在地核的巨大压力下，它的密度会达到 9～12 克/厘米³，而且在地球中心的条件下，它会呈液态。

如果需要的话，陨石可以提供更多的证据。陨石可以分为两大类：一类是主要由硅酸盐组成的**石陨石**；另一类是由大约 90% 的铁、9% 的镍以及 1% 的其他元素组成的**铁陨石**。许多科学家相信，陨石是被粉碎的小行星的残余物，其中一些残余物可能很大，

以至可以分裂为金属部分和石质部分。如果是那种情况的话,金属部分一定是镍-铁,因此地球的金属核心可能也是镍-铁。(实际上在1866年,也就是远在地震学家探测地核之前,法国地质学家多布雷根据铁陨石的成分就认为地核是由铁组成的。)

就地球的构造来说,今天大多数地质学家都承认液态镍-铁地核是一个基本常识。但是,有人对此提出了一项重大改进。1936年,丹麦地质学家莱曼试图解释以下一个令人困惑的事实,即一些纵波出现在大部分纵波都不能进入的地核表面上的一个**影区**内。他提出,在距地心大约1 300公里的地核范围内有一不连续面,使纵波再次发生偏折,因而将一些侧倾的纵波送入影区。古滕贝格支持这个观点,而现在大多数地质学家把地核分为**外核**和**内核**,外核是液态镍-铁,内核与外核有所不同,可能是固态的,或者在化学成分上略有不同。1960年,智利大地震使整个地球发生缓慢振动,其振动频率与在考虑到内核的情况下所预测的频率相符。这是支持内核存在的有力证据。

地幔

包围着镍-铁核心的那一部分地球称为**地幔**。地幔可能是由硅酸盐组成的,但是由地震波通过地幔的速度来判断,正如美国物理化学家L. H. 亚当斯1919年首先指出的那样,这些硅酸盐与地表上的典型岩石不同。这些硅酸盐的性质表明,它们是所谓的**橄榄石型**(橄榄绿色)的岩石,相对来说富镁和铁而贫铝。

地幔并不是一直延伸到地表。南斯拉夫克罗地亚的一位名叫莫霍诺维奇的地质学家,在研究由1909年巴尔干地震产生的地震波时,断定地表下面大约32公里的一个点上地震波的速度急剧增加。这个**莫霍洛维奇不连续面**(简称**莫霍不连续面**)现在被公认为**地壳**的边界。

地壳和上地幔的性质可以利用前面提到的面波进行详尽的研究。同体波一样,面波也可分为两种:一种是**洛夫波**(以其发现者洛夫的名字命名),这种波是横波,形状像在陆地上爬行的蛇;另一种是**瑞利波**(以英国物理学家瑞利勋爵的名字命名),这种波是纵波,形状像神话中的海蛇在水中游动的路径一样。

对这些面波的分析(特别是哥伦比亚大学尤因的分析)表明,地壳在各个地方的厚度不同。在海洋盆地下面地壳最薄,有些地方莫霍不连续面仅在海平面以下 13~16 公里的地方。由于海洋本身在某些点上深达 8~11 公里,因此,在海渊以下的地壳可能只有 5 公里厚。另一方面,在大陆下面,莫霍不连续面所在的平均深度大约是海平面以下 32 公里(例如,在纽约市下面大约为 35 公里),而在山脉下面可深达 64 公里。这个事实加上重力测量所得到的证据表明,山脉岩石的密度比普通岩石的低。

总的来说,地壳是由玄武岩和花岗岩两种主要岩石组成的一种结构,密度较小的花岗岩浮在玄武岩上,形成大陆,并在花岗岩特别厚的地方形成山脉(就像大冰山浮出水面比小冰山高一样)。年轻山脉把花岗岩根部深深地推进到玄武岩中,但是,随着山脉被侵蚀,花岗岩根部就会由于慢慢向上浮动而自行调整(这种保持质量平衡的现象叫做**地壳均衡**,这个名称是美国地质学家达顿 1889 年提出来的)。阿巴拉契亚山脉(一个非常古老的山脉)的花岗岩根部差不多完全浮上来了。

在大洋下面的玄武岩上面覆盖着一层厚约 0.4~0.8 公里的沉积岩,但几乎没有或完全没有花岗岩,例如,太平洋洋盆就完全没有花岗岩。大洋下面的地壳薄,这使人们设想出一个惹人注目的计划:为什么不可以钻一个穿过地壳直达莫霍不连续面的孔,将地幔物质取出,看看地幔到底是由什么东西组成的呢?这决不是一件容易的事,因为这意味着,首先要在大洋很深部位的水面上停

泊一条船，再把钻杆放进几公里深的海水里，然后钻透从来没有人钻过的非常厚的岩石。对这个计划的早期热情已经消失，现在这件事已被搁置一旁了。

花岗岩“漂浮”在玄武岩上，这种现象使人们联想到**大陆漂移**的可能性。1912 年，德国地质学家魏格纳提出，所有大陆最初都是一整块花岗岩，他称之为“联合古陆”(意为“整个地球”)。在地球历史的某个早期阶段，这块花岗岩破裂，各大陆才漂移开去。他论证说，各大陆仍在漂移中，例如，格陵兰正以每年 0.914 米的速度远离欧洲。南美洲东海岸的形状和非洲西海岸的形状看上去像玩具拼板一样相符，主要是这个事实使魏格纳(还有其他科学家，如早在 1620 年的 F. 培根)产生了这种想法。

在半个世纪里，魏格纳的理论一直受到冷遇。直到 1960 年，当本书的第 1 版出版时，根据当时地球物理学家的普遍意见，我仍认为全然否定这一理论是合理的。反对这一理论的最有说服力的论据是，不论是大洋还是大陆下面的玄武岩都太坚硬了，根本不容许大陆花岗岩从它那里漂移过去，即使花岗岩漂移几百万年也漂移不过去。

然而，支持这一理论的证据给人的印象越来越深刻。这个证据就是，大西洋过去并不存在，而被大西洋分开的大陆曾经是一个整体。如果不是以它们实际的海岸线(现代海平面的偶然情况)而是以大陆坡的中心点(与海平面低的时期出露的大陆相毗连的浅的洋底)把两岸的大陆拼合起来的话，那么，整个大西洋沿岸，不论是北部还是南部，都能完美地拼在一起。其次，非洲西部一些地方的岩系与南美洲东部一些地方的岩系也完全相符。还有，如果认为是大陆而不是磁极在漂移的话，人们就不会对过去磁极的漂移感到那么惊讶了。

联合古陆及其分裂不只是有地理上的证据。生物方面的证据

更为有力。例如,1968 年,人们在南极洲发现了一种已经灭绝的两栖动物的一块长 6.4 厘米的骨化石。这种两栖动物根本不可能在离南极那么近的地方栖居过,因此,南极洲一定曾经位于离南极较远的地方,至少气温应该暖和一些。这种两栖动物连一条狭小的咸水沟也游不过去,由此可以推断,南极洲一定曾经是一个具有温暖区域的更大的陆块的一部分。总的说来(我将在第十六章中再谈),这块骨化石提供的证据与联合古陆曾一度存在后来分裂的说法非常吻合。

在这里着重讲一讲地质学家反对魏格纳的论据是很重要的。在科学边缘区域拼命工作的人,由于专心于新的研究(在某些时候和某些情况下的确是这样,但从未达到所声称的“边缘”理论的程度),往往以科学家们经常持有的那种固执己见的态度为他们的没有把握的理论进行辩护。他们经常以魏格纳和他的大陆漂移理论为例,但是在这一点上他们错了。

地质学家并不反对联合古陆及其分裂的**观念**。实际上,为了说明地球上生物的分布方式,人们提出了各种更为激进的建议,这些建议被认为是有希望的。他们所反对的是魏格纳提出的具体机制——巨大的花岗岩断块从玄武岩“海洋”上漂移过去的观点。反对这一观点是有严谨理由的,这些理由即使在今天仍然成立。大陆不是在玄武岩上漂移的。

然而,必须有另外一种机制来说明地理和生物所表示的大陆位置变化——一种更有说服力而且有证据的机制。我将在本章的后面讨论这种证据,但是大约在 1960 年,美国地质学家 H. H. 赫斯根据一些新的发现提出一个合理的设想,他认为,熔融的地幔物质可能会涌上来——例如沿着大西洋洋底的某些断层缝涌上来——而在地幔顶部附近被推向一旁,冷却和硬化。洋底就这样被拉开和伸展。因此,不是大陆漂移,而是这些大陆被扩张的海底

所推开。

现在看来联合古陆似乎确实存在过,而且在2.25亿年前,在恐龙开始繁盛的时代,似乎还是完整的。根据动、植物的演化和分布情况来判断,联合古陆是在大约2亿年前才开始明显分裂的。联合古陆当时分裂成三部分:北部(北美洲、欧洲和亚洲)称为劳亚古陆;南部(南美洲、非洲和印度)称为冈瓦纳古陆(冈瓦纳一名取自印度一个地区的名称);南极洲和大洋洲组成第三部分。

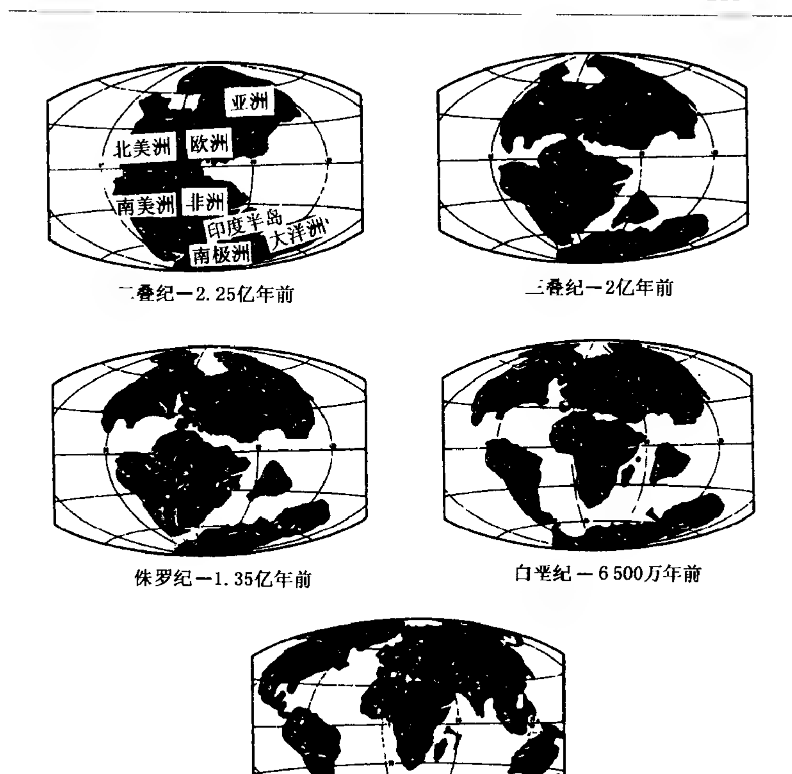
大约6 500万年前,当时恐龙已经灭绝,哺乳动物正统治地球,在西部南美洲与非洲分离,在东部印度与非洲分离后移向南亚。最后,北美洲与欧洲分开,印度板块与亚洲板块相撞(在交接线上形成喜马拉雅山脉),大洋洲则离开了南极洲,于是形成了我们现在所看到的大陆分布情况(有关大陆的变化情况,见图4-4)。

月球的起源

早在1879年,英国天文学家G. H. 达尔文(进化论的创立者C. R. 达尔文的儿子)就对地球在各个地质时代可能发生的变化提出了一个更加令人惊讶的设想,他认为,月球是早期从地球上分离出去的,太平洋就是那次分离留下的痕迹。

这是一个颇为吸引人的想法,因为月球仅占地球和月球总质量的1%多一点,而且直径很小,完全可以放进太平洋中。如果月球是由地球的外层物质组成的话,那么,月球没有铁核、密度比地球低得多以及太平洋洋底没有大陆花岗岩等问题就都可以得到解释了。

然而,根据各种理由来看,月球从地球分离出去的可能性似乎不可能存在;天文学家和地质学家今天几乎都不认为过去发生过这样的事。尽管如此,月球在过去似乎确实比今天更接近地球一些。



二叠纪—2.25亿年前

三叠纪—2亿年前

侏罗纪—1.35亿年前

白垩纪—6 500万年前

新生代—现在

图 4-4 地质时代

不论在海洋中还是在固体地壳内，月球的引力都会引起潮汐。因为地球的自转，海水掠过浅海区；随着潮汐的升降，各个岩层也一同经受摩擦。这种摩擦代表地球的自转能量被缓慢地转换成热能，因此地球的自转周期逐渐增加。这对人类来说影响并不大，因为大约要 62 500 年一天才增加 1 秒钟。虽然地球失去自转能，但角动量必须守恒。因此，地球失去的能量被月球获得。于是，月球

在绕地球公转中速度增加,这意味着月球非常缓慢地向远方漂移。

如果我们能回到遥远的地质时代的话,我们会发现地球的自转一定很快,一天的时间明显地变短,月球明显地靠近,整个效应都随之加快。G. H. 达尔文曾往回推算,想求出月球与地球靠近到能形成一体的时刻;尽管我们并不想推算那么远,但是我们应该找出过去一天的时间比现在短的证据。例如,大约 5.7 亿年前——最古老的化石时代——一天可能只有 20 小时多一点,而一年可能有 428 天。

现在这已经不是一个单纯的理论问题了。某些珊瑚产生碳酸钙带在一些季节比另一些季节活跃,因此人们可以像数树干上的年轮一样来数珊瑚的年带。还有人提出,有些珊瑚产生碳酸钙带在白天比夜间活跃,因此有非常细的日带。1963 年,美国古生物学家 J. W. 韦尔斯数了数化石珊瑚上的微细日带,他报告说,4 亿年前的珊瑚中平均每条年带有 400 条日带,而在 3.2 亿年前的珊瑚中每条年带只有 380 条日带。

当然,现在的问题是,如果当时月球离地球比现在近得多,而且地球也比现在自转得快,那么在更早的时期情况又是怎样的呢?如果不是 G. H. 达尔文理论中所说的地球和月球分离的情形,那又会是一种什么样的情形呢?

一种设想是,月球在过去的某个时期被地球俘获过。例如,如果它是在 6 亿年前被俘获的话,那么,就可以说明为什么我们能够在岩石中找到无数个可以追溯到那个时期的化石,而更早时期的岩石只含有不能确定的痕量的碳。或许在月球被俘获时伴随的巨大潮汐把这些更早期的岩石冲刷干净了(当时还没有陆地生物,如果有的话,也会被毁灭)。如果月球被地球俘获过,那么,月球当时离地球会比现在近,而且从那时起,会有一个月球后退和天变长的过程,但是以前并没有这类事情发生。

另一种设想是，月球是由相同的积聚在一起的尘埃云在地球附近形成的，从那时起一直在后退，但从来没有真正成为地球的一部分。

20世纪70年代，许多人乐观地认为，对宇航员从月球带回的月岩进行研究和分析，可能会使问题得到解决，然而并非如此。例如，月球表面覆盖的玻璃碎片，在地球表面从未发现。月壳完全没有水，而且在比较低的温度下能熔化的物质很少，比地球上还少。这表明月球可能有一个时期一直处在高温之下。

于是，有人假设，月球在形成时期曾经有一个非常扁的轨道，远日点约在目前到太阳的距离，近日点则在水星轨道附近。它可能这样运行了几十亿年，然后月球、地球以及可能还有金星的位置配合起来，结果月球被地球俘获。月球放弃了其小行星的位置，成为一颗卫星，但月球表面仍有其早期类似水星近日点的痕迹。另一方面，玻璃可能是陨星撞击月球时所产生的局部热形成的，陨星撞击使月球上出现了许多月坑。或者，月球从地球上分裂出去时，由这一激烈事件所产生的热形成了玻璃，这种情况是不大可能的。

实际上，关于月球起源的所有设想似乎都是不可能的；而且科学家们抱怨说，如果仔细考虑月球起源的证据的话，那么，惟一可能的结论只能是，月球根本不该出现在那里。但是，这个结论正好说明他们应该继续搜寻另外的证据。这个问题的答案一定会找到。

液态地球

地球由两个主要部分组成——硅酸盐地幔和镍-铁地核（组成比例与鸡蛋的蛋白和蛋黄的比例大致相同）——这一事实使大多数地质学家认为，地球在其早期历史中必定有一个时期为液态。那时地球可能是由两种不互溶的液体组成的。因为液态硅酸盐比

较轻,所以浮在顶层,将热散发到空间,从而冷却。下面的液态铁不直接暴露于空间,所以放热慢得多,故至今仍为液态。

甚至从完全冷的以微星聚合体的形式出现的时期开始,地球就至少存在着三种途径可以热到足以熔化的程度。首先,这些微星体在碰撞和聚合时,以热的形式放出其动能。其次,地球在成长过程中被引力压缩,更多的能量仍以热的方式释放出来。第三,地球的放射性物质——铀、钍和钾——在其衰变过程中也会放出大量的热;在早期阶段,地球上的放射性物质比现在多得多,放射性释放出来的热足以使地球变成液态。

但是,并不是所有科学家都愿意接受必定有一个液态阶段的说法。特别是美国化学家尤里,他坚持认为,地球大部分一直是固体。他论证说,在主要是固体的地球内,铁的缓慢分离仍然可以形成铁核;即使现在,铁可能仍以每秒 50 000 吨的速率从地幔向地核迁移。

海　　洋

地球与太阳系中其他行星的不同之处在于,它的表面温度可以让水以三种形态存在:液态、固态和气态。距离太阳比地球更远的一些星球,如木卫三和木卫四,主要是冰。木卫二的整个表面都被冰川所覆盖,而冰下可能有液态水,但其他所有外星球的表面上可能只有微不足道的水蒸气。

据我们所知,地球是太阳系中惟一有许多海洋的星体。这些海洋汇聚了极大量的水,其上便是大气圈。实际上,我应该说地球上**只有一个大洋**,因为太平洋、大西洋、印度洋、北冰洋和南冰洋共同组成了一个相互连接的咸水体,而欧洲、亚洲和非洲大陆、美洲大陆以及一些较小的大陆如南极洲和大洋洲,都可以看成是其中

的岛屿。

这个大洋的统计数字相当惊人。它的总面积是3.63亿平方公里,占地球表面面积的71%。它的体积,按平均深度3.75公里计算,约为13.58亿立方公里。它所含的H_2O占地球总含量的97.2%;它也是地球上淡水供应的源泉,因为每年有33万立方公里的海水被蒸发后变成雨或雪降落下来。这种降水作用的结果,使大陆的地表下面有大约83万立方公里的淡水,还有大约12.5万立方公里的淡水露天积存在湖、河中。

从另一个角度来看,海洋并不那么惊人。它虽然很大,却仅占地球总质量的1/4 000强一点。如果我们把地球设想成台球一样大小的话,那么海洋只不过是球面上一层不引人注目的水膜罢了。如果你能一直下到海洋的最深处,那么,你所走的这段路程仅仅是到地心的距离的1/580,但剩下的那段距离首先是岩石,接着是金属。

然而,这一层不引人注目的水膜对我们来说却意义重大。最初的生物就是从这里发源的;而且,从单纯的数量角度来说,地球上的生物大部分也是生活在海洋。在陆地上,生物局限于距离地表几米的范围内(只有鸟类和飞机可以暂时离开地面);在海洋中,生物可以长久地占据深达11公里的领域,有些地方可能更深一些。

可是,直到近些年来,人们一直不知道海洋的深度,特别是对洋底一无所知,好像海洋是在金星上似的。

海流

现代海洋学的创始人莫里原是美国海军军官。在30多岁时,他在一次事故中瘸了腿。这对他来说是不幸的,但却给人类带来了福利。他在残废后被任命主管海图及仪器库(无疑是一个闲

职),于是,他便全心投入了绘制海流图的工作。他详细研究了墨西哥湾水流的流程,早在1769年美国学者B.富兰克林就研究过这个水流。莫里描述这个水流时说:“这是海洋中的一条河。”这句话已经成为海洋学中的一句名言。它确实是一条比陆地上任何河流都大得多的河。它每秒钟的流量是密西西比河的1000倍。这个水流起点宽80公里,深约0.8公里,流速每小时6.4公里。它的加温作用远达北部的斯匹次卑尔根群岛。

他还提倡海洋研究方面的国际合作;在他的积极推动下,1853年在布鲁塞尔召开了具有历史意义的第一届国际海洋会议。1855年,他出版了第一本海洋学教科书,书名为**《海洋自然地理》**。在他死后,美国安纳波利斯海军学院建立了“莫里纪念堂”,以表彰他所取得的成就。

从莫里那个时期以来,人们对海流进行了全面制图。由于科里奥利效应,在北半球的海洋中,海流是按顺时针方向流动的强大环流;在南半球的海洋中,则是按逆时针方向流动的强大环流。墨西哥湾水流只是北大西洋顺时针方向环流的西部支流。在纽芬兰以南,它流向正东,横过大西洋(**北大西洋漂流**)。墨西哥湾水流的一部分转向欧洲海岸,绕过不列颠群岛,到达挪威海岸;其他部分则转向南,沿着非洲的西北海岸流动。这最后一个部分沿着加那利群岛流动,被称之为**加那利海流**。非洲海岸的形状加上科里奥利效应,使海流向西横越大西洋(**北赤道海流**),最后流入加勒比海,环流又重新开始。

一个较大的逆时针方向的环流沿着赤道以南的太平洋边缘流动。这个紧靠大陆的海流从南极向北,流到南美洲的西海岸,远至秘鲁。环流的这一部分叫**秘鲁寒流**或**洪堡海流**(为了纪念德国博物学家洪堡而命名,大约在1810年他第一个描述了这股海流)。

秘鲁海岸的形状与科里奥利效应相结合,使这股海流向西横

越赤道正南的太平洋(**南赤道海流**)。这股海流的一部分穿过印度尼西亚群岛的水域进入印度洋。其余的部分向南流经大洋洲的东海岸,然后再次东流。

这些环流有助于平衡海洋的温度,也有助于间接地调节海岸的温度。虽然温度的分布仍不均匀,但比没有海流要好多了。

大部分海流流动缓慢,甚至比墨西哥湾水流还慢。虽然流速缓慢,但涉及海洋的面积很大,使海洋中大量的水发生流动。从纽约市以外北去的墨西哥湾水流沿着固定的路线流动,其流量大约是每秒 4 500 万吨。

在极区也有水流。北半球的顺时针海流和南半球的逆时针海流都使水在环流的极地边缘从西向东流动。

南美洲、非洲和大洋洲大陆的南面,有一股海流绕过南极洲大陆,从西向东横越连绵不断的海洋(地球上只有南极洲一个地方海水从西向东漂流而不会遇到陆地)。这个南极的**西风漂流**(亦称**南极绕极流**)是地球上最大的海流,每秒钟流经任一给定路线的流量接近 1 亿吨。

北极区的西风漂流被陆块所阻挡,因此形成**北太平洋漂流**和**北大西洋漂流**。北大西洋漂流在格陵兰西海岸转向南去,这股冰冷的极地水流经加拿大东部的拉布拉多半岛和纽芬兰岛,因此那一部分海流叫做**拉布拉多海流**。拉布拉多海流在纽芬兰岛以南与墨西哥湾水流相遇,使这一地区经常有雾和风暴。

大西洋西岸和东岸形成鲜明的对照。西岸的拉布拉多半岛,受拉布拉多海流的影响,一片荒凉,总人口为 25 000 人。在东岸,正好在同样的纬度上,是不列颠群岛,由于受墨西哥湾水流的影响,人口为 5 500 万人。

直接沿着赤道流动的一股海流不受科里奥利效应的影响,可以沿着直线流动。这样一股又细又直的海流处在太平洋中,它沿

着赤道向正东流动几千公里。这股海流是由美国海洋学家克伦威尔发现的,因此称为**克伦威尔潜流**。1961 年,美国海洋学家沃勒斯在大西洋发现了一条类似的海流,只是流速稍慢。

循环并不仅仅限于表层海流。一些间接的证据可以清楚地说明,海洋深层不可能保持平静不动。一方面,海洋表层的生物不断地消耗海洋中的矿物养料——磷酸盐和硝酸盐,而死亡后同这些物质一起沉入深部;如果没有环流把这些物质再带上来,海洋表层就会缺乏这些矿物质。另一方面,如果没有环流传送的话,那么靠从空气中吸收并供给海洋的氧,就不会以足够的速率下渗到海洋深处,以维持深部生物的需要。实际上,人们发现即使在深海的底部氧的浓度也够用。只有假设海洋中有些区域富含氧的表层水不断下沉,才能解释这种情况。

驱使海水这样垂直环流的动力是温差。在极区,海洋表层的水变冷而下沉,这股不断下沉的水流会沿着整个海底扩展开去,因此,即使在热带地区,海底的水也是非常冷的——接近冰点。最后,这种深部冷水无处可流,只好涌向表层。在上升到表层以后,冷水逐渐变暖并流向北极和南极,于是再度下沉。据估计,如果在大西洋中加入某种新的成分,由此形成的环流在大约 1000 年内就会使大西洋全部混合。太平洋比较大,若要全部混合的话,大概需要 2000 年。

南极远比北极更能提供冷水。南极洲的冰冠是北极所有的冰(包括格陵兰冰冠在内)的 10 倍。融冰使南极洲周围的水变得冰冷,在表层向北延伸,直到与从热带区域南下的暖流相遇。来自南极洲的冷水的密度大于来自热带的暖水,因此在到达**南极辐合线**时便沉到暖水的下面,南极辐合线在一些地方向北延伸到南纬 40 度。

南极的冷水带着氧和养料扩展到整个洋底(氧同所有的气体

一样,在冷水中比在暖水中容易溶解,溶解的量也比较大)。南极洲(世界的"冰箱")就这样为海洋提供养料并控制全球的气候。

大陆的阻隔使这种总体情况变复杂了。为了跟踪实际的环流,海洋学家便用氧作示踪剂。因为富含氧的极地水下沉并扩展,所以携带的氧被利用氧的有机质逐渐消耗。因此,通过在不同的地方从深水中提取氧浓度样品,人们就可以找出深海海流的方向。

这样绘制的海流图表明,有一股主要的海流从北冰洋出发在墨西哥湾水流的下面并以相反的方向向南流入大西洋,另一股海流从南极出发向北流入南大西洋。太平洋没有直接来自北冰洋的海流可言,因为从北冰洋到太平洋的惟一出口就是窄而浅的白令海峡。因此,它是深海海流路线的终点。北太平洋的深水区域缺氧,这个事实说明北太平洋是全球海流的终点。因为缺氧,这个最大的海洋的大部分区域生物稀少,宛如陆地上的沙漠区。如地中海那样的内海的情形可以说也与此相同,因为氧和养料的完全循环也被部分地阻塞了。

1957 年,英美联合海洋考察队对深海海流的这种情况取得了更直接的证据。考察者使用了英国海洋学家斯沃洛发明的一种特殊浮标,这种浮标能保持在 1.6 公里以上深度的水层中,浮标上装有一个能发送短声波的装置。这样,当浮标随着深海海流移动时,我们就可以通过这些信号追踪它。考察队就是这样沿大西洋的西边南下跟着深海海流进入了大西洋。

海洋资源

世界人口日益膨胀,当他们向海洋索取更多的食物时,所有有关这方面的资料将具有重要的实用价值。正如种地需要掌握河流、地下水和降雨量的资料一样,科学的"海洋种田"也需要了解这些能够提供养料的海流。如果能进行精心有效的管理的话,据估

计,现在每年海味的捕获量能够增加到2亿多吨(1980年大约是8000万吨),同时仍给海中生物留有维持它们生存的充分余地。(当然,前提是目前对海洋的肆意损害和污染不再继续下去,特别是对最靠近大陆海岸的那部分海洋,因为那部分海洋含有供人类食用的大部分海中生物。到目前为止,我们不仅没有提出一个更有效地利用海洋获取食物的合理方法,反而在降低达到目前捕获量的能力。)

食物并不是海洋的惟一重要资源。海水中几乎溶有各种元素,而且数量巨大。例如,海洋中含铀多达40亿吨,银3亿吨,金400万吨,但因稀释度太大,无法实际提取。不过,现在人们已经能够从海水中大量地提取镁和溴了。此外,碘的一个重要来源是干海草。活着的海草能把碘从海水里浓缩出来,目前人类要从海水中提取同样浓度的碘尚无利可图。

从海中还可以挖掘出大量的普通物质。从靠近美国的浅海中,每年挖出大约2000万吨的牡蛎壳,作为石灰岩的一个重要来源。另外,以同样的方式每年大约取出3820万立方米的砂砾。

在洋底的较深部位散布着各种金属结核。这些金属结核是以砾石或鲨鱼牙齿等东西为核心沉积而成的。(海洋中有类似情况,如在牡蛎体内以沙粒为核心形成珍珠)。这些金属结核含锰量最高,所以通常称做锰结核。据估计,在太平洋洋底每平方公里有这些结核12000吨。要大量获取锰结核是非常困难的,而且在当前条件下单为获得锰而去开采是不值得的。但是,这些结核中含有1%的镍、0.5%的铜和0.5%的钴。这些次要成分使这些结核的吸引力大为增强。

除了被溶解的物质外,海洋中97%(实际上都是水)的情况又如何呢?

美国每人每年大约使用2700立方米的水,作为饮食、洗涤、

农业和工业用水，大多数国家用水比美国节省；但就世界总的情况而言，每人每年的用水量平均为1500立方米。但是，所有这些用水都必须是**淡水**。至于海水不能作这些用途。

当然，从绝对意义上来说，地球上有大量的淡水。淡水虽然只占地球总水量的约3%，但仍然每人大约平均拥有淡水1000万立方米。然而，这些水有3/4无法利用，被覆盖地表10%的面积的永冻冰冠储藏起来了。

因此，地球上液态淡水每人大约拥有240万立方米，而通过降雨经常得到补充的水平均每人为11万立方米。我们可能会说，世界每年的降雨量是人类用水量的75倍，因此应该有充足的淡水。

但是，大部分雨降落在海洋中或作为雪降落在积冰上，降落在陆地上的并且保持液态或者天气变暖时变成液态的雨水，有些未被利用就流入大海。亚马孙地区的森林中大量的水实际上人类完全没有利用。同时，人口在不断地增长，现存的这种淡水又在不断地受到污染。

因此，不要很久淡水将会成为稀有的商品，而人类现在已开始求助于最后的水源——海洋。最理想的方法是蒸馏海水，先使海水蒸发，然后再凝结成水，并把被溶解的物质留下来；利用太阳的热可以做到这一点。这种**脱盐法**可以作为一种淡水来源，在经常有日晒的地方，或者在燃料便宜的地方，或者在必须的地方，人们已经在这样做。大海轮通常都是利用燃烧的油一边使机器运转一边蒸馏海水，从而供给自用的淡水。

也有人建议，把极区的冰山集中并浮动到温暖而干旱的海港，在那里可以把存留下来的冰融化以供使用。

但是，毫无疑问，利用我们的淡水资源(或任何资源)的最好方法，就是要善于储存，把浪费和污染减少到最低限度，而且要注意控制全球的人口数量。

海洋的深度和大陆的变迁

对海洋深度直接观测的情况是怎样的呢？从古代仅保存下来一份记录(如果可以信赖的话)。据说大约在公元前100年,希腊哲学家波西多留斯曾在撒丁岛海岸以外的地方测量过地中海的深度,测到的深度据说大约是2公里。

然而,直到18世纪,科学家们为了研究海中生物,才开始对海洋的深度进行系统的研究。在18世纪70年代,丹麦生物学家O. F. 弥勒发明了一种水底采样器,可以用来从海面下几米深的地方取出生物标本。

19世纪30年代,英国生物学家小福布斯使用水底采样器取得了显著成功,他从北海和不列颠群岛周围的其他海域中取出了海中生物。此后,1914年,他随一艘海军军舰前往东地中海,在那里从410米的深处采到了一条海星。

植物只能生长于海水的最上层,因为阳光只能穿透大约70米深的海水。动物说到底必须依靠植物才能生活。因此,小福布斯认为,在能找到植物的水深以下,动物是不能长久存活的。实际上,他认为410米的深度大概是海中生物生存的极限,这个极限以下的海洋是贫瘠的,没有任何生物存在。

然而,正当小福布斯做出这种判断的时候,英国探险家J. C. 罗斯在南极洲海岸探险时,从730米深的海水中捞出了生物,远低于小福布斯的极限。但是,南极洲太远了,所以大多数生物学家还是接受小福布斯的判断。

当决定横越大西洋海底铺设一条电报电缆时,海底才第一次成为人类实际关心的事情(而不再只是少数科学家出于一种好奇心)。1850年,莫里为铺设海底电缆绘制了一张大西洋海底地形图。在美国金融家菲尔德的坚决支持下,用了15年的时间,经过

许多挫折和失败，大西洋海底电缆终于铺设成功。（现在已有 20 多条电缆横越大西洋海底。）

但是，这项工程标志着人类开始对海底进行系统的考察，这应该感谢莫里。莫里的探测表明，大西洋中间的水域比两边的浅。为了纪念这条电缆，莫里把中央浅的区域命名为“电报海台”。

英国船**斗牛狗号**继续对海底进行考察并扩大了莫里考察的范围。**斗牛狗号**于 1860 年启航；船上有英国物理学家沃利克，他用海底采样器从大约 2300 米的深海中捞出 13 条海星。这些海星都是活蹦乱跳的，不是死后沉到海底的。沃利克立即报告了这一情况，并认为即使没有植物，动物也可以在寒冷漆黑的深海中生存。

生物学家仍不愿意相信这种可能性；1868 年苏格兰生物学家 C. W. 汤姆森乘坐一艘叫**闪电号**的船到深海去打捞。结果从深海中捞出了各种动物，于是争议结束了。小福布斯关于海中生物生存的下限的说法被推翻了。

C. W. 汤姆森想测定海洋到底有多深，1872 年 12 月 7 日他乘坐**挑战者号**出海，在海上航行了 3.5 年，航行距离合计 126000 公里。为了测量海洋的深度，**挑战者号**采用了人们长期使用的方法，将长 6.4 公里缆索的一端系上一个重物，再把缆索放入海中直到到达海底，当时除此以外没有更好的方法。**挑战者号**就这样在 370 个地方测量了海洋的深度。遗憾的是，这种方法既费力又不精确。但是，1922 年发明了利用声波的**回声测深法**，对海底的考察才发生了一场革命。为了说明回声测深法是怎么回事，现在先来谈一谈声波。

机械振动在物质中（例如在空气中）引起纵波，其中有一些作为声音我们能够听到。不同波长的声音具有不同的音调。我们能听到的最低声音，波长为 22 米，频率为每秒 15 周。正常成人能听到的最尖声音，波长是 2.2 厘米，频率是每秒 15000 周。（小孩能

听到更尖的声音。)

大气吸收声音的程度取决于波长。波长越长,被一定厚度的空气所吸收的声音越少。正因为如此,轮船的雾号声音都非常低,所以能传得非常远。像老**玛丽女王号**大客轮的雾号声,每秒振动27次,相当于钢琴的最低调发出的声音。这种雾号声在16公里以外都能听到,用仪器在距离160~240公里的地方都能收听到。

有些声音比我们能够听到的最低音调还要低。地震或火山造成的一些声音属于**次声**频率范围。这种声音有时可以绕地球好儿圈才被完全吸收。

声音被反射的效率以相反的方式取决于波长。波长越短,反射率越大。频率高于我们听得见的最尖声音的声波具有更高的反射率。一些动物比人类能听到更尖的声音,并会利用这种能力。蝙蝠的叫声能发出高达每秒130000周的**超声**频率的声波,并能听到它们的回声。根据回声最响的方向以及发出声音到听到回声之间的时滞,蝙蝠就可以判断出要捕捉的昆虫的位置并避开树枝。这样,即使它们看不见,只要不聋,就能非常有效地飞行。(意大利生物学家斯帕兰札尼1793年首先进行了这方面的观察,他想知道蝙蝠是不是用它们的耳朵来“看”东西,当然,从某种意义上来说,它们确实是这样。)

海豚和油鸱(委内瑞拉的穴居鸟)也利用声波达到**回声定位**的目的。由于它们只想测定较大物体的位置,所以它们使用可听范围内反射率较小的声波来达到这一目的。(人们已开始怀疑,脑子发达的海豚发出的复杂声音甚至可能是用来进行一般的联系——直接了当地说,就是用来进行交谈。美国生物学家利利对这种可能性做了详尽的研究,没有得出明确的结论。)

人类要想利用超声波的特性,必须首先能产生出超声波。小规模产生和应用超声波的例子是1883年最先制成的**狗笛**。这种狗笛

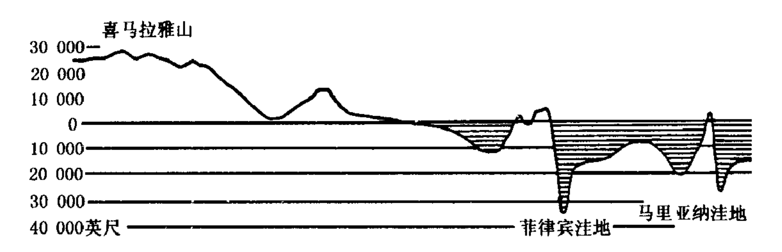
产生的声音接近于超声频率范围的声音,狗能听见,但人听不见。

法国化学家皮埃尔·居里和他的兄弟雅克·居里开辟了一条更有作为的途径。1880 年,他们发现某些晶体受压时会产生电势(**压电现象**)。反过来也是一样。当在这类晶体上加上电势时,它就会由于受到压力而产生轻微的收缩(**电致伸缩**)。只要研究出能够使电势产生快速波动的技术,人们就可以使晶体振动得非常快,从而产生超声波。1917 年,法国物理学家朗之万首先做到了这一点。他很快就把这种短声波的优异反射能力应用在侦察潜水艇上(尽管在他做成功的时候第一次世界大战已经结束)。在第二次世界大战期间,这种方法进一步完善,发展成为**声纳**(即声波导航和测距系统)。

于是,利用超声波反射测定海底的距离取代了测深绳。根据从发出信号(一个**尖脉冲**)到收到回波之间的时间间隔,就可以计算出海底深度。操作者惟一需要考虑的是,他所得到的信号是不是由鱼群或其他障碍物反射回来的假回波。(因此,捕鱼船可以使用这种仪器探测鱼群。)

回声测深法不仅快速和方便,而且使人们能够在船经过的地方把下面海底的连续剖面描绘出来,从而使海洋学家得到一张海底地形图。现在 5 分钟内所收集到的情况比**挑战者号**在其全部航程中所得到的资料还要详细。

第一艘这样使用声纳的船是德国的海洋调查船**流星号**。1922 年,这艘船对大西洋进行了调查。到 1925 年人们就清楚地知道,海底决不是毫无特征和平坦的。莫里的"电报海台"也不是一种平缓起伏的高地和低地,实际上它是一条山脉,比陆地上的任何山脉都长和崎岖不平。这一山脉在整个大西洋洋底蜿蜒延伸,其最高的一些山峰突出海面,形成像亚速尔群岛、阿森松岛以及特里斯坦-达库尼亚群岛那样的岛屿。人们称之为**大西洋中脊**。



随着时间的推移,人们陆续发现了其他更加惊人的事实。夏威夷岛是一条水下山脉的顶部,从山脉的海底测量约高达10000米,比喜马拉雅山脉的最高峰还要高,因此,完全可以把夏威夷称为地球上最高的山。在海洋底部还有许多平顶火山锥,称之为**海峰或海底平顶山**。海底平顶山的名称是为了纪念瑞士血统的美国地理学家几岳而用他的名字命名的,1848年在他移居美国时把科学的地理学带到了美国。第二次世界大战期间,美国地质学家H. H.赫斯首先发现了海峰,他接连测定出19座海峰的位置。在海底至少有10000座海峰,大部分在太平洋。1964年,在威克岛正南发现了一座海峰,高达4300米。

此外,海底还有**海沟**,深达6000多米,美国的科罗拉多大峡谷也会被淹没进去。海沟都位于各个群岛的边缘,总面积约占全部海底面积的1%。这看起来似乎不多,但实际上却相当于美国面积的一半,海沟的含水量是陆地上全部河、湖总含水量的15倍。最深的一条海沟在太平洋;另外,在菲律宾群岛、马利亚纳群岛、千岛群岛、所罗门群岛和阿留申群岛附近也发现有海沟(见图4-5)。大西洋中也有大海沟,处在西印度群岛和南桑威奇群岛附近。印度洋中也有一条海沟,处在东印度群岛附近。

除海沟外,海洋学家还追踪到了海底峡谷。有时海底峡谷长达几千公里,看上去像是河道。有些海底峡谷似乎确实是陆上河流的延伸,有一条峡谷明显地从哈得孙河延伸到大西洋。20世纪

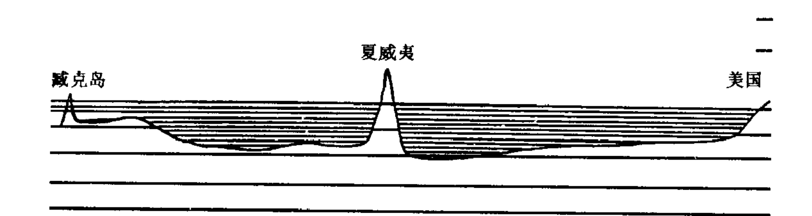


图 4－5　太平洋海底剖面图。海底的大海沟在海平面以下的深度大于喜马拉雅山脉的高度，而夏威夷从海底算起的高度大于陆地上最高山峰的高度

60 年代，对印度洋进行了海洋调查，结果仅在孟加拉湾就找到了至少 20 多条这样的大沟槽。于是有人认为，这些海底峡谷曾经是陆地上的河床，当时印度洋的水面比现在低。但是，到现在为止，有些水下河道仍然处在海平面以下，似乎完全不可能曾经高出过海面。近年来，许多海洋学家，尤其是尤因和希曾，提出了另外一种理论。他们认为，海底峡谷是由**浊流**挖成的。这种浊流是一种沿着近海大陆坡发生的、每小时 96 公里、雪崩塌式、充满泥沙的水流。有一股浊流引起了科学家们对这个问题的注意。这就是 1929 年在纽芬兰以外的海中地震之后形成的浊流，接连毁坏了许多海底电缆，成为一次重大的灾害。

大西洋中脊现今的延伸情况令人惊奇。新近在其他地方所作的探测表明，大西洋中脊不仅仅局限于大西洋。它的南端绕过非洲，沿着印度洋西部往北一直延伸到阿拉伯半岛。它在印度洋中部分叉，延伸至澳大利亚和新西兰以南，然后再向北绕太平洋转一大圈。最初人们所认为的大西洋中脊竟变成了“大洋中脊”。但是，在一个非常基本的方面大洋中脊不同于大陆上的山脉：大陆上的山脉是由褶皱的沉积岩组成的，而巨大的大洋中脊是由来自炽热的地球深处的玄武岩组成的。

第二次世界大战以后,尤因和希曾又以新的劲头探测洋底的详细情况。1953年的详细探测表明,沿整个大洋中脊的正中央有一条深峡谷,这使他们大为惊讶。最后发现在大洋中脊的所有部分都存在着深峡谷,因此有时称之为"全球大裂谷"。在有些地方这条大裂谷紧靠陆地,例如,它延伸至非洲与阿拉伯半岛之间的红海,并掠过太平洋的边缘,穿过加利福尼亚湾,到达加利福尼亚州的海岸。

起初,人们以为这条大裂谷是地壳中连续64000公里的一条大裂缝。但是,进一步的仔细考察表明,它是由彼此错开又短又直的段落组成的,好像是地震使相邻的段落发生了错动。实际上,地震和火山往往是沿着这条大裂谷发生的。

这条大裂谷是地壳的一个弱点,来自地球内部炽热的熔岩(**岩浆**)就是通过这个弱点慢慢地涌上来,然后冷却,堆积成大洋中脊,并不断向外扩张。这种扩张每年快达16厘米,在1亿年中,整个太平洋洋底就可以铺上一层新的岩石。实际上,从洋底捞出的沉积物很少发现有超过1亿年的,如果没有海底扩张假说的话,对于已有45亿年生命史的地球来说,这种现象就令人惊奇了。

很明显,地壳同时被全球大裂谷及其分支分成了彼此分开的大板块。这些板块被称为**构造板块**,因为这些板块非常巧妙地连接在一起,看上去像是一个完整无损的地壳。根据这些板块来研究地壳的演化就是人们所说的**板块构造**。

地壳有6大构造板块和许多较小的构造板块,而且人们很快就弄明白,地震通常沿着这些板块的边界发生。太平洋板块(包括太平洋的大部分)的边界包含有东印度群岛、日本群岛、阿拉斯加和加利福尼亚等地震带。欧亚板块和非洲板块之间的地中海边界是仅次于太平洋边界的有名地震带。

另外,在地壳中还发现有以很深的裂隙出现的**断层**,断层的一

盘岩石紧贴在另一盘岩石上，定期地进行滑动，从而造成地震。这些断层也出现在板块的边界上或板块边界的分支上。在所有这样一些断层中，最有名的是圣安德烈斯断层，它从旧金山到洛杉矶沿着整个加利福尼亚州海岸延伸，是美洲板块和太平洋板块之间边界的一部分。

魏格纳的大陆漂移说情况又如何呢？如果以单个板块来考虑的话，那么板块上的物体既不可能漂移也不可能改变位置，这些物体被坚硬的玄武岩固定住了（正如反对魏格纳学说的人所指出的那样）。再者，相邻的板块紧紧地挤压在一起，很难看出什么东西能够使它们移动。

答案可从另一种考虑中得到。板块的边界不仅是经常发生地震的地方，而且也是经常爆发火山的地方。实际上，沿着与太平洋板块边界相一致的太平洋海岸活火山和死火山是如此之多，以致整个海岸被称做**火环**。

那么，会不会是这样一种情形：岩浆是通过构造板块之间的裂隙从地球内部炽热的深层涌上来的（因为在固体地壳中只有这些裂隙是薄弱环节）？具体地说，岩浆可能会通过中大西洋裂谷非常缓慢地涌上来，与海水接触后凝固，形成裂谷两侧的大西洋中脊。

我们可以进一步设想，岩浆在涌出和凝固的过程中可能会把各个板块推开。如果是这样的话，它会成功地把非洲和南美洲向南推移，而把欧洲和北美洲向北推移，使联合古陆分裂，形成大西洋，并且使大西洋越来越大。欧洲和非洲也会被推开，形成地中海和红海。由于海底日益扩大，所以这种作用被称做**海底扩张**。海底扩张假说是由H. H. 赫斯和迪茨1960年首先提出的。大陆并不是像魏格纳所想象的那样浮动或漂移开的；它们是固定在板块上被推开的。

怎样才能证明海底扩张呢？1963年初，对从中大西洋裂谷两

侧的海底取得的岩石进行了磁性检测。岩石的磁性模式随着离开裂谷的距离而变化,而且两侧岩石磁性模式就像镜像一样完全相对应。有确切的证据证明,靠近裂谷的岩石是最年轻的,越往裂谷的两侧移动年龄就越老。

用这种方法,人们可以估计出,大西洋海底现在扩张的速率每年不到2.5厘米。在这个基础上,大西洋最早张开的时间能够大体上确定下来。在最近20年中,构造板块运动以种种方式使地质学的研究发生了一场彻底的革命。

由于所有的板块都是紧密地贴在一起的,因此如果要迫使两个板块分开的话,那么,一个板块必然会挤进另一侧的另一个板块里,这是很自然的事情。如果两个板块慢慢地合在一起(速率每年不超过5厘米),地壳就会弯曲和隆起,形成山脉和**山根**。因此,喜马拉雅山脉似乎在载有印度的板块和载有亚洲其余部分的板块缓慢接触时形成的。

另一方面,当两个板块结合得太快而来不及弯曲时,一个板块的表面可能会在另一个板块的下面凿出一条路,形成一条深海沟和一系列岛屿,并有可能出现火山活动。例如,在西太平洋就发现了这种深海沟和岛屿。

在海底扩张的影响下,板块既推开又结合。中大西洋裂谷正好从冰岛的西部经过,使冰岛正在被非常缓慢地推开。这种分离的另一个地方在红海。红海还相当年青,它的存在仅仅是因为非洲和阿拉伯半岛已经被推开了一点儿。(如果把红海相对的两岸靠在一起的话,它们紧密相符。)这个过程正在继续着,因此,在某种意义上说,红海是一个正在形成过程中的新大洋。1965年发现,在红海水体底部有些区段温度为56℃,盐的浓度至少为正常水的5倍,这个事实表明红海的上升流非常活跃。

可以设想,有可能存在一个漫长而缓慢的岩浆上涌旋回,涌上

来的岩浆在某些地方把板块推开,在另外一些地方使板块拼到一起,导致地壳向下俯冲,并使它变为岩浆。在这一过程中,各个大陆合成一个陆块,然后又被分开,如此反复多次,于是山脉形成又被侵蚀,深渊形成又被填平,火山喷发又熄灭。地球在地质上和生物学上都充满着生机。

地质学家现在甚至能够描述出联合古陆最后分裂的过程,虽然仍然只能是粗略的。联合古陆最早是从一条东西向裂缝开始分裂的。联合古陆的北半部包括现在的北美洲、欧洲和亚洲,有时叫做"劳亚古陆",因为从地质上讲,北美洲地表最老的岩石就是产在圣劳伦斯河以北的劳伦高原的岩石。

联合古陆的南半部包括现在的南美洲、非洲、印度半岛、大洋洲和南极洲,称做"冈瓦纳古陆"。(这个名字是奥地利地质学家E. 休斯1890年根据印度一个地区的名字和一种地质演化理论创造出来的,他所根据的这种理论在当时似乎是合理的,但现在知道是错误的。)

大约在2亿年前,北美洲开始与欧亚大陆分开;在1.5亿年前,南美洲开始与非洲分开,最后南美洲和北美洲在中美洲只是以很窄的地带连接起来。随着这些陆块的分开,它们向北推移,直到劳亚古陆相等的两半把北极地区夹在它们中间为止。

大约在1.1亿年前,冈瓦纳古陆的东部分裂成好几块:马达加斯加岛、印度半岛、南极洲和大洋洲。马达加斯加岛与非洲靠得很近,但自最后的联合古陆发生分裂以来,印度半岛比其他任何陆块都移动得远。印度半岛向北移动了8850公里,挤进了南亚,从而形成了喜马拉雅山脉、帕米尔高原和西藏高原。后者是世界上最年轻、最雄伟壮丽的高原区域。

南极洲和大洋洲可能仅仅是在4000万年前分开的。南极洲向南移动到其冰冻的终点。大洋洲今天仍在向北移动。

深海生物

第二次世界大战以后,对海洋深部继续进行调查。近年来,一种水下听力装置**水听器**证实,海中生物发出各种不同的响声,因此,总的来说深海同陆地一样喧闹。

1951年新**挑战者**号调查了西太平洋的马里亚纳海沟,发现地壳中最深的沟不是菲律宾群岛附近的海沟,而是马里亚纳海沟。这条海沟最深的部分现在叫做**挑战者号深渊**,深达约11000米,如果把珠穆朗玛峰放进去的话,水面将会没过其最高峰1.6公里。然而,**挑战者号**从该深渊的底部捞出了细菌,看上去同地球表面的细菌非常相似,但只能在1000个以上大气压的环境中生存。

海沟中的生物适应了海底这样高压的环境,因而不能离开海沟;实际上,它们就像被囚禁在一个孤岛上一样。它们经历了一种与外界隔绝的演化过程。但是,它们在许多方面仍然与其他有机质有非常密切的亲缘关系,因此它们在深渊中的演化似乎经历的时间还不太长。人们可以想象,由于竞争的压力,有些海洋生物群体被迫到越来越深的水域中生活,正如其他生物群体被迫到大陆架越来越高的地方,甚至最后在陆地上生活一样。沉入深海的群体必须适应较高的压力;出现在陆地上的群体则必须适应无水的环境。总的来说,后者可能比前者更难适应,所以在深渊中有生物存在就没有什么可惊奇的了。

诚然,深海中的生物不如表层附近丰富。据估计,单位海水中的生物含量,在7.2公里以下仅是在3.2公里深处的1/10。此外,在7.2公里以下的深海中,几乎没有食肉目动物。因为在那里捕获不到足够的食物。但是,它们是食腐动物,以能够找到的各种有机质为食。人们发现,深渊中的各种生物最早不超过2亿年,大多数不超过5000万年,这说明深渊只是在较近的年代才被生物栖

居的。只是在恐龙时代开始的时候深海中才出现了生物，在此之前什么生物也没有。

尽管如此，侵入深海的一些生物还是在那里存活下来，但它们与接近表层的生物的亲缘关系却逐渐断绝。19 世纪 30 年代末期有一个例子非常突出地证明了这一点。1938 年 12 月 25 日，一艘拖网渔船在非洲南部附近的海中捕获到一条约 1.5 米长的怪鱼，怪就怪在鱼鳍不是直接长在鱼身上而是长在两片肉叶上。南非动物学家 J. L. B. 史密斯抓住时机对这条鱼进行研究，把它当作一件最好的圣诞礼物。这种鱼叫**空棘鱼**，是一种原始鱼，动物学家们一直认为它在 7000 万年以前就灭绝了。现在有了这种动物的一个现代标本，原来以为在恐龙全盛时期到来之前它已经绝迹了。

第二次世界大战中断了寻找空棘鱼类的工作，但 1952 年在马达加斯加岛附近又捕获到一条不同属的空棘鱼。到目前为止已经发现了许多条这种鱼。因为空棘鱼习惯于深海生活，所以被捕上来以后很快就死去了。

进化论者之所以对研究空棘鱼标本特别感兴趣，是因为最初的两栖纲动物就是由这种鱼进化来的，换句话说，空棘鱼是鱼类祖先的嫡系后代。

在 20 世纪 70 年代末期有一项更加令人兴奋的发现。科学家们在洋底找到了**热点**，在那里地幔的炽热岩浆上升到非常靠近地壳上部边界的地方，并把上面的水加热。

1977 年初，一艘深海潜水艇载着科学家沉到海底，在加拉帕戈斯群岛以东和加利福尼亚湾海口，对接近热点的海底进行了调查。在加利福尼亚湾海口的热点上，他们发现有**烟囱**，带烟的热泥从这些烟囱中涌上来，使周围的海水充满矿物质。

这些矿物富含硫，同时在这些热点的附近还富含各种细菌，它们不是从阳光中获取能量，而是从硫和热的化学反应中获得能量。

小动物以这些细菌为食,较大的动物则以较小的动物为食。

这是一种全新的生物链,不需要依赖于海水最上层的植物细胞。即使阳光完全消逝,这个生物链也能生存,只要热和矿物质继续从地球内部涌出来,因此,这一生物链只能在热点附近生存。

从这些海底区域取回蛤、蟹和各种蠕虫进行研究,其中有些相当大。所有这些蛤、蟹及蠕虫都是在对那些不适应这种水域化学特性的动物来说是有毒的水体中繁盛起来的。

深海潜水

研究深海最理想的办法就是把人送到下面去观察,以上介绍的情况就是一个实际的例子。当然,水对人来说不是一个适宜的环境。自古以来,潜水者一直在锻炼他们的技巧,他们能够潜到大约 18 米的深处,并在那里停留 2 分钟。但是,在身体没有装备的情况下,这种技巧没有多大提高。

20 世纪 30 年代,陆续发明了护目镜、蛙鞋和**通气管**(一种短管,一端含在口中,另一端露出水面),这使游泳者能够在水下游更长的时间,其功效比别的方法要好。这种潜水叫做**裸潜**,因为它是人直接潜到洋面之下。

1943 年,法国海军军官库斯托发明了一种设备,就是裸潜潜水员携带的压缩空气筒,里面装有化学过滤器,可以吸收潜水员呼出的气体中的二氧化碳,从而使呼出的气体可以再度使用。这种设备叫做**水肺**。战后利用水肺潜水成为人们喜爱的一项运动,这项运动被称为**斯库巴潜水**。

有经验的斯库巴潜水员可以达到 60 米的深度,但与海洋的总深度相比仍然是太浅了。

第一套实用的潜水服是由西贝于 1830 年设计的。潜水员穿着现代的潜水服可以下到大约 90 米的深度。潜水服把人体全部

密封起来，但是密封更严密的是一种适合于水下旅行的船——**潜水艇**。

早在1620年，荷兰发明家德雷贝尔就建造了第一艘潜水艇，可以在水下真正停留很长一段时间而不会淹死艇内的人。但是，必须有一种用来代替手摇螺旋桨的东西作为动力，潜水艇才会有实际用途。潜水艇不能使用蒸汽动力，因为密封的潜水艇中空气有限，不可能燃烧任何燃料。所需要的是靠蓄电池的电力来转动的电动机。

第一艘这种电力潜水艇建造于1886年。虽然必须定期给蓄电池充电，但这艘潜水艇每充一次电可以航行大约130公里。到第一次世界大战开始时，欧洲的主要强国都有了潜水艇，并将它们用作战舰。但是，这些早期的潜水艇容易破裂，不能下潜很深。

1934年，毕比乘坐他的探海球成功地下潜到910米深处。探海球是一种厚壁的小船，里面装有氧气及吸收二氧化碳的化学药品。

探海球是靠海面上的船用链索吊下去的，本身不会活动。因此，需要一种能在深渊中航行的船。1947年，瑞士物理学家A. 皮卡德发明了这种船，称做**探海艇**。这艘探海艇能够承受巨大的压力，它用很多铁球压载(遇有紧急情况可以自动弃入海中)以使之下沉，并有一个装有汽油的“气球”来为它提供浮力和稳定性(因为汽油比水轻)。1948年这艘探海艇在西非达喀尔附近的海中第一次试潜(不载人)，下沉1 400米。同年，毕比的同事巴顿利用**环形深海潜水器**(一种经过改进的探海球)也下潜到1 400米的深度。

后来，A. 皮卡德和他的儿子J. 皮卡德又建造了一艘经过改进的探海艇，并命名为**的里雅斯特号**，因为当时的里雅斯特自由城曾资助建造这艘探海艇。1953年，A. 皮卡德乘坐这艘艇在地中海下潜到4公里的深处。

美国海军为了研究海洋购买了**的里雅斯特号**。1960年1月

14日,J. 皮卡德和一位海军人员沃尔什乘坐这艘探海艇下沉到马里亚纳海沟的底部,下潜深度为11.3公里,这一深度在任何一个深渊中都是最深的。那里是海洋中最深的地方,压力达1 100个大气压,但是他们仍然发现了海流和活着的生物。实际上,他们所看见的第一个生物是脊椎动物,一条长30厘米的鱼,样子像比目鱼,长着眼睛。

1964年,法国的探海艇**阿基米得号**10次下潜到波多黎各海沟的底部。这条海沟是大西洋中最深的海沟,深达8.5公里。同其他海沟一样,这里的海底每平方米也都有生物。非常奇怪的是,这里的海底并不是平缓地下斜进入到深渊的,而是看上去呈阶梯状,像是一座巨大的向外展开的楼梯。

冰　　冠

我们地球的两极总是令人向往的,科学史上最冒险的篇章之一就是对两极地区的考察。那些地区充满了浪漫壮丽的景象和支配人类命运的因素——天上奇异的极光、极端的寒冷、特别是那些影响世界气候和我们生活方式的巨大冰冠(或冰川)。

北极

真正向两极地区的推进在人类历史上是较近期的事情,起始于哥伦布发现美洲大陆以后兴起的伟大探险时代。最初的北极探险家主要是为了寻找一条绕过北美洲顶端的海道。正是在贯彻这项不可靠的计划当中,英国航海家哈得孙(受荷兰雇用)发现了哈得孙湾,并在1610年死去。6年以后,另一位英国航海家巴芬发现了巴芬湾,它深入到距离北极不到1300公里的地方(见图4-6)。最后,在1846—1848年间,英国探险家J. 富兰克林越过

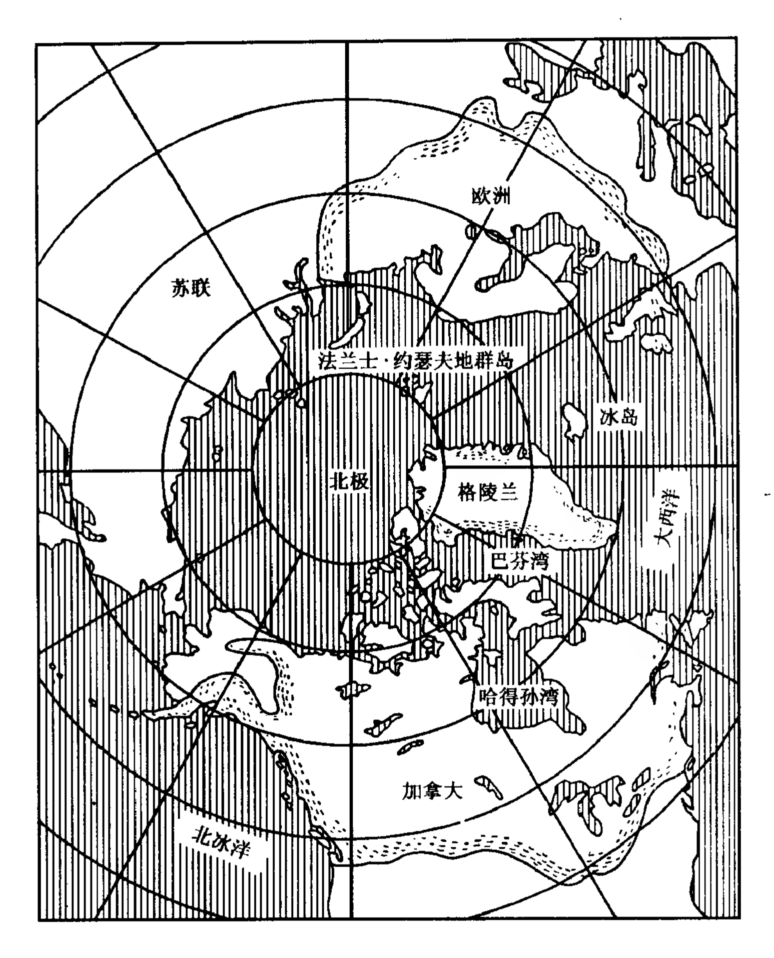


图 4-6　北极图

了加拿大北部海岸，并发现了西北航道(这在当时对轮船来说是最不实用的一条航道)。J. 富兰克林死于这次航海中。

此后，又经过半个世纪的努力，人们才到达了北极。当时去北

极的动机主要是单纯冒险和想成为第一个到达北极的人。1873年,奥地利探险家帕耶和韦普雷茨特到达了离北极不到960公里的地方,并以奥地利帝王的姓名把他们发现的一群岛屿命名为法兰士·约瑟夫地群岛。1896年,挪威探险家南森在北极冰上漂移到距离北极不到480公里的范围内。最后,1909年4月6日,美国探险家皮里终于到达了北极终点。

现在,北极已不像以往那样神秘了。人们从冰上、空中和水下对北极进行了考察。1926年,伯德和贝内特首次飞越北极;潜水艇也从北极的水中通过。

同时,以格陵兰为中心的最大的北半球冰冠吸引了许多科学考察队。魏格纳就是在这样一次考察中于1930年11月死去的。人们发现,格陵兰215万平方公里的面积约有165万平方公里被格陵兰冰川所覆盖,已知有些地方冰厚1.6公里。

随着冰层的积厚,冰层被推入海中,由于冰层的边缘破裂或崩解而形成冰山。北半球每年这样形成的冰山约有16000个,其中90%是由格陵兰冰冠破裂形成的。这些冰山缓慢地向南漂移,特别是漂向大西洋西部。每年大约有400个冰山经过纽芬兰,威胁到轮船航道;1870—1890年间,有14艘船与冰山相撞沉没,有40艘船严重受损。

最严重的一次碰撞发生在1912年,那一年,豪华客轮**泰坦尼克号**首次出航时与冰山相撞而沉没。此后对这些巨大冰山经常出现的地方设立了国际监视哨。在此后的年代里,投入使用一艘冰情巡逻船,结果没有发生过一次轮船被冰山撞沉的事件。

南极——南极洲

南极的巨大大陆冰冠比格陵兰冰冠大得多。南极冰冠覆盖的面积是格陵兰冰川的7倍,冰的平均厚度为2.4公里,有些地方厚

约5公里。这是因为南极大陆非常广大,约有1300万平方公里,但有多少是陆地,有多少是由冰覆盖着的海洋,目前尚不能确定(见图4-7)。一些探险家相信,至少南极洲西部是一群由冰连在一起的大岛屿;但在目前,似乎还是大陆说占上风。

著名的英国探险家J.库克是第一个越过南极圈的欧洲人。1773年,J.库克环绕南极地区作了一次航行。(可能是这次航程激发了柯尔律治的灵感,使他写下了最著名的作品《**古舟子咏**》,1798年出版,书中描写了从大西洋到太平洋经由南极洲冰冻地区的航程。)

1819年,英国探险家W.史密斯发现了离南极洲海岸只有80公里的南设得兰群岛。1821年,由别林斯高津率领的一个俄国探险队看到了南极圈内的一个小岛(彼得一世岛);同一年,英国的G.鲍威尔和美国的帕默首先看到了属于南极大陆本身的一个半岛,现在称之为"南极半岛"。①

在以后的数十年间,探险家们一步一步地向南极极点迈进。到了1840年,美国海军军官威尔克斯宣称,这个陆地的各个走向合起来组成一个陆块,后来证明他的说法是正确的。英国人威德尔深入到帕默半岛以东的一个海湾(现在叫做威德尔海),距离南极极点不到1450公里。另一位英国探险家J.C.罗斯发现了进入南极洲的另一个大海湾(现在叫做罗斯海),并到达了距离极点不到1142公里的地方。在1902—1904年期间,第三个英国人R.F.斯科特越过了罗斯冰架(一块由冰覆盖着的大洋,面积相当于美国的得克萨斯州),到达了距离极点不到800公里的地方。1909年,又一位英国人E.沙克尔顿从冰面上到达了距离南极极点大约160公里的地方。

---

① 即图4-7上的帕默半岛。——译注

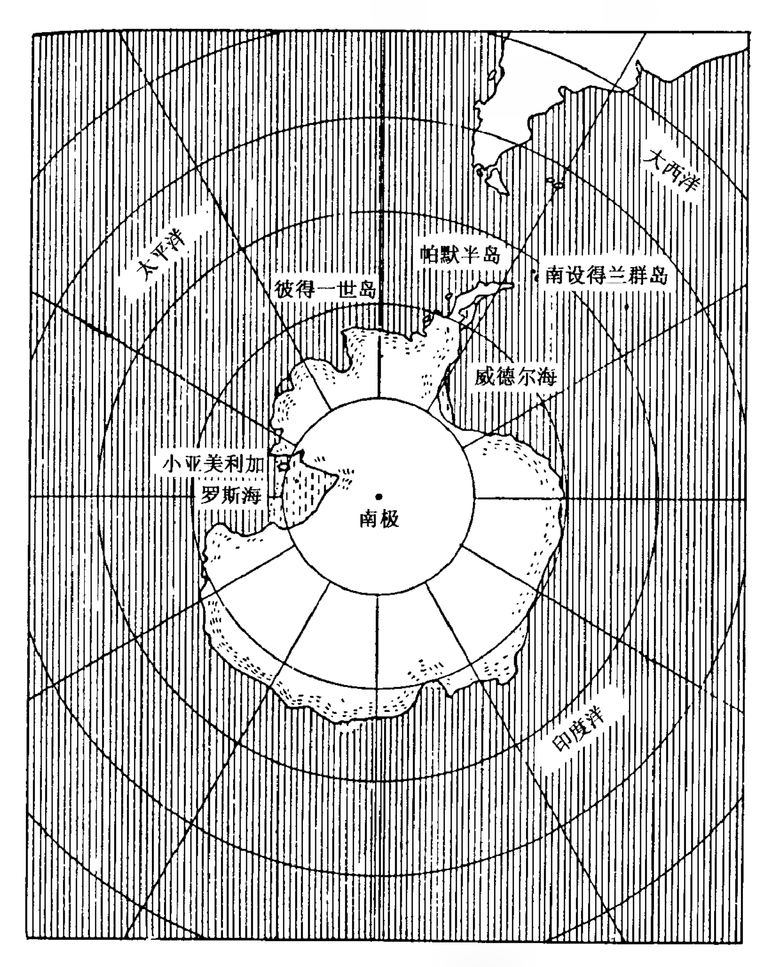


图 4-7 主要大陆冰川今天大都局限在格陵兰和南极洲。在最近一次冰期的顶峰,冰川曾扩展到欧洲北部和西部以及北美洲

1911 年 12 月 16 日,挪威探险家阿蒙森终于到达了南极极点。此时斯科特正在第二次向极点进发,仅比阿蒙森晚 3 个星期

到达南极极点,他到达极点时见到阿蒙森的旗子已经插在了极点上。斯科特和他的同伴们在回途中不幸丧生在冰上。

20 世纪 20 年代后期,飞机帮助人们实现了征服南极洲的愿望。澳大利亚探险家 G. H. 威尔金斯沿南极洲海岸飞行了1 930 公里;1929 年伯德飞越了南极极点。此时第一个基地"小亚美利加 1 号"已经在南极建立。

国际地球物理年

北极区和南极区已经成为近代最大的国际科学项目的焦点。这起源于 1882—1883 年,当时许多国家参加了"国际极地年"活动,对诸如极光和地磁一类的现象进行考察和科学研究。这次活动非常成功,所以 1932—1933 年又举办了第二届"国际极地年"活动。1950 年,美国地球物理学家伯克纳(他曾经是伯德南极探险队的第一批队员)倡仪举办第三届这样的活动。国际科学联盟理事会热情地接受了他的建议。在这次活动中,科学家们制造了强有力的新科研仪器,并提出了一系列新的课题,如关于宇宙射线、高空大气层、海洋的深度以及空间考察的可能性等问题。因此,安排了一次宏大的"国际地球物理年"活动,时间定在 1957 年 7 月 1 日～1958 年 12 月 31 日(太阳黑子活动最旺盛的一段时间)。这项计划激起了国际合作的热情,甚至处于敌对状态的苏联和美国,为了科学事业也参加了这项活动。

虽然从公众兴趣的角度来看,国际地球物理年最辉煌的成就是苏联和美国成功地发射了人造卫星,但科学还取得了许多其他同样重要的成果,其中最突出的是对南极洲进行了广泛的国际合作考察。仅美国就在南极洲设立了 7 个观察站,探测冰的厚度,并从几公里深的冰层下取出被囚锢在里面的空气样品(这些空气可能已经被囚锢了几百万年)和残存细菌的样品。有些细菌被冰冻

在冰面以下 30 米可能达 100 年之久,但仍能复苏并正常生长。1958 年 1 月,苏联的研究小组在冰极(南极洲最靠内地的一个点)建立了一个基地,这个基地离南极极点 960 公里,他们在那里测到了新的最低温度。1960 年 8 月,正值南极隆冬,他们记录的温度是 - 127°F,冷得可以将二氧化碳冻结。在以后的 10 年中,在南极洲又建立了几十个常年工作的观察站。

在最引人注目的征服南极的业绩中,由富克斯和希拉里率领的一支英国探险队从陆地上横越了南极大陆,这在人类历史上还是第一次(诚然,他们利用了特殊的交通工具和现代科学所能提供的一切手段)。希拉里也是第一个登上世界最高峰珠穆朗玛峰的人,他是在 1953 年同登山运动员诺盖一起登上珠穆朗玛峰的。

国际地球物理年的成功以及由在冷战期间表现出来的这种合作精神所激发起来的热情,使 12 个国家于 1959 年签订了禁止在南极洲进行一切军事活动(包括核爆炸和倾倒放射性废料)的协议。因此,南极洲将留作一个科学活动的场所。

冰川

地球上冰的总量将近 3 700 万立方公里,大约覆盖了陆地总面积的 10%。其中 86%的冰堆积在南极大陆冰川中,10%在格陵兰冰川里,剩下的 4%构成了冰岛、阿拉斯加、喜马拉雅山脉、阿尔卑斯山脉及其他少数几个地方的冰川。

长久以来,人们一直在对阿尔卑斯冰川进行研究。19 世纪 20 年代,两位瑞士地质学家维尼茨和夏彭蒂耶注意到,阿尔卑斯山脉中部所特有的岩石散布在阿尔卑斯山脉以北的平原上。这些岩石是怎样到平原上去的呢?地质学家们推测,山岳冰川以前覆盖的面积比现在大得多,这些冰川后退时便留下了漂砾和岩屑堆。

瑞士动物学家阿加西兹对这种看法作了深入的研究。他在冰

川上打下几行木桩,来观察冰川是否移动。到 1840 年,他确切无疑地证实,冰川像非常缓慢的河流一样在流动,速度大约为每年 69 米。同时,他走遍了欧洲,在法国和英国都发现了冰川的痕迹。他还在其他地方发现了周围环境中没有的漂砾,还发现岩石上有擦痕,这些擦痕只有其底部携带着卵石的冰川才磨得出来。

1846 年阿加西兹到了美国,成为哈佛大学的教授。他在新英格兰和美国中西部发现了冰川作用的痕迹。到了 1850 年,事情已经很明显,在地球历史上的某个时期,北半球的大片地区一定被巨大的大陆冰川所覆盖。自阿加西兹以来,人们对冰川遗留下来的沉积物进行了详细的研究,这些研究表明,在最近 100 万年中,冰川曾多次进退,从而构成了**更新世**。

现在地质学家往往用**更新世冰川作用**一词来代替人们所熟知的**冰期**。但事实上有些冰期是出现在更新世之前。大约 2.5 亿年前曾有一个冰期,大约 6 亿年前也有过一个冰期,在它们之间,大约 4 亿年前可能还有一个冰期存在。人们对这些较早的冰期很少了解,因为时间久远,大部分地质证据都不存在了。但是,总的来说,冰期不常发生,它只占地球整个历史的千分之几。

关于更新世冰川作用,似乎南极的冰盖与最近这个冰期的推进无关,虽然南极冰盖现在是最大的冰盖。南极冰盖只能向海中延伸并在那里破裂。浮冰越来越多,使海水普遍变得很冷,但南半球的陆地离南极很远,因而不致使它们各自产生冰盖的生长点,但安第斯山脉最南端的一些冰川作用除外。

北半球却完全是另外一种情形,那里辽阔的陆地紧靠着极点。正是在那里冰盖的扩展非常引人注目;上面所说的更新世冰川作用几乎完全是与北半球有关,现在除了存在一个北极冰盖(格陵兰冰冠)外,还有三个较大的冰盖,其中每个冰盖的面积约为 258 万平方公里,它们是加拿大冰盖、斯堪的纳维亚冰盖和西伯利亚冰

盖。

大概因为格陵兰是北半球冰川作用的发源地,所以邻近的加拿大所受到的冰川作用比距离较远的斯堪的纳维亚以及更远的西伯利亚大得多。由于加拿大冰盖发源于东北部,因此阿拉斯加的大部分和太平洋大陆坡未受到冰川作用的影响,但是,加拿大冰盖一直向南扩展,冰的边缘跨过了美国北部的大部分地方。在向南的最大扩展中,冰界越过了华盛顿州的西雅图,到达北达科他州的俾斯麦,然后转向东南,基本上沿着现代的密苏里河的路线延展,经过奥马哈和圣路易斯,接着再向东,扩展到辛辛那提、费城和纽约。南部边界似乎是沿着现在长岛的整个长度延伸的。

当冰盖扩展得最远时,冰盖在两极地区覆盖的陆地总面积有4400万平方公里,占地球现在陆地面积的30%,是现在由冰覆盖的陆地面积的3倍。

对冰盖地区土壤中的沉积层仔细研究的结果表明,冰盖共有4次进退。这4个冰期中,每个冰期持续50000~100000年。在它们之间有3个**间冰期**,这3个间冰期都比较温暖,甚至比较炎热,而且时间也长。

第四次也就是最近一次冰川作用大约在18000年前达到最大限度,当时到达了现在的俄亥俄河。随后便缓慢地后退。在一段时期内,后退的速度为每年75米,由此可见其缓慢的程度。在另一些地方甚至有局部的和暂时的重新前进。

大约在10000年以前,当文明在中东已经开始的时候,冰川开始了最后的后退。到8000年前,北美洲五大湖区已经露出;到5000年前,冰川已后退到现今所在的地方(此时在中东已经发明了文字)。

冰川的进退不仅在地球其余地方的气候上而且在大陆的形状上都留下了痕迹。例如,格陵兰冰川和南极洲冰川现在都在退缩,

如果它们全部融化的话,海洋的水面会上升大约 60 米,因而会将各大陆的沿海地区全部淹没,包括世界上许多最大的城市,水位会达到曼哈顿摩天大楼的第 20 层。另一方面,阿拉斯加、加拿大、西伯利亚、格陵兰、甚至南极洲,可能会成为更适合于人类居住的地区。

在冰期的最高峰所发生的情况正好与此相反。那么多的水以陆地冰冠的形式被冻结起来(冰的总量是现在的 3～4 倍),因此海平面的界线要比现在的界线低 130 米。此时大陆架全部露了出来。

大陆架是海洋连接大陆的比较浅的部分。海底大体上是逐渐地倾斜到 130 米的深处,然后骤然变陡,很快就达到相当大的深度。从结构方面讲,大陆架是它们所连接的大陆的一部分,就是说,大陆架的边缘才是大陆的真正边界。目前,洋盆中的水仍然很多,大陆的边界还在水中淹没着。

大陆架在面积上并不小。大陆架在一些地方比另一些地方宽得多。美国东海岸以外的大陆架面积相当大,而西海岸(正好处在一个地壳板块的边缘)以外的大陆架面积却非常小。总的来说,虽然大陆架的平均宽度为 80 公里,但其总面积却达到 2 590 万平方公里。换句话说,一个比苏联还要大的潜在的大陆面积现在被淹没在海水下。

在最大冰川作用时期露出来的正是这个地区。在最后的大冰期中这个地区确实是露了出来。陆地动物的化石(如象牙)已经从离开陆地几公里远的水面以下好几米深的大陆架中挖掘了出来。而且,由于北半球的大陆部分被冰川覆盖,再往南雨量要比现在多,所以撒哈拉沙漠当时是一片草原。撒哈拉是在人类历史开始之前不久由于冰冠的后退才开始干旱起来的。

这样一来,适于人类和动物居住的地区是可变的。随着海平

面下降,巨大的陆地面积变成了冰漠,而大陆架则因现代沙漠的增长而变成了人类和动物居住的地区。随着海平面上升,低洼地区进一步被淹没,两极地区则变成了可供居住的地方,而沙漠再次后退。

由此可见,冰川作用时期并不一定是荒凉和灾难时期。在冰川作用的顶峰时期,所有冰盖中的冰总共只占海洋总水量的0.35%。因此,冰川的变动对海洋几乎没有什么影响。当然,浅水地区的面积会大大减少,而这些地区又是富有生物的。另一方面,热带海水的温度比现今的温度低2℃~5℃,就是说水中溶有更多的氧和含有更多的生物。

同时,冰川的前进和后退都非常缓慢,因此动物总的来说能够适应,它们可以缓慢地向南或向北迁移。甚至有足够的时间来产生进化适应能力,因而在冰期中长毛的猛犸象非常繁盛。

最后,冰川的变动看上去很凶猛,其实不然,因为冰川从来没有全部融化过。南极洲冰冠自存在以来,在2000万年的时间里相对地说没有改变,从而限制了海平面和温度的变化。然而我并不是说我们不必担心未来。第五次冰川作用虽然有自身的许多问题,但我们没有理由认为它最终不会到来。在以前的冰川作用中,人类数量极少,而且是些猎人,他们沿着猎物的路径非常容易南北迁移。在下一次冰川作用中,人类无疑会数量众多(如同现今一样),而且他们借助城市和其他建筑物过着相对定居的生活。再者,人类使用的各种不同技术可能会加快冰川的前进或后退。

冰期的成因

冰期的成因是冰期的一个主要问题。是什么力量使冰川前进和后退的呢? 为什么冰川作用的时间比较短? 例如现在的冰川作用在最近1亿年中仅有100万年的历史呢?

只要温度发生很小的变化就会引发或终止一个冰期,例如,温度只要下降一些就足以使冬天的积雪到夏天融化不完,或者温度只要上升一些就足以使夏天融化的雪比冬天下的雪要多。据估计,只要地球的年平均温度下降3.5℃,就足以使冰川增长;而地球的年平均温度上升3.5℃,则经过100年左右南极洲和格陵兰的冰川就会融化,使岩石露出来。

温度的轻微下降如果足以使冰的覆盖量在2~3年内稍有增加,就会使这一过程继续下去。冰面比裸露的岩石或土壤能更有效地反射阳光;射到冰面上的阳光能被冰面反射90%,而裸露的土壤所反射的阳光不到10%。冰的覆盖量稍微增加一点,就会使阳光反射增多而吸收减少,因此使地球的平均温度再降低一点儿,并且使冰的覆盖量又会加速增长。

同样,如果地球的温度稍有上升,正好达到足以使冰川有小的后退的程度,则反射的阳光就会减少,而吸收的阳光就会增加,从而加速冰川后退。

那么,导致这两种情形出现的作用过程是什么呢?

一种可能是,地球的轨道不是完全固定的,每年运行的轨道都不完全相同。例如,近日点的时间就不固定。正是现在,地球的近日点即太阳最靠近地球的时间紧跟在冬至之后。但是,近日点的位置在不断地改变,每21 310年绕轨道一周。同时,地轴的方向也在改变,每25 750年在天上画一个圆圈(岁差)。还有,地球的实际倾斜度也有微小的改变,增大一点儿,然后又减小一点儿,处在一种缓慢摆动的状态中。

所有这些变化都会稍微影响地球的平均温度,虽然影响不大,但在某些时期足以引起冰川的前进或后退。

1920年,南斯拉夫物理学家米兰科维奇提出一种时间长度为40 000年的周期性理论,其中“大春季”、“大夏季”、“大秋季”和“大

冬季”各 10 000 年。根据这个理论,地球在“大冬季”期间会特别容易发生冰川作用,而且当其他因素也合适时实际上就会发生这种情形。一旦发生了冰川作用,地球在“大夏季”很可能会发生冰川消退作用,如果其他因素合适的话。

米兰科维奇的理论在提出时并未得到人们的赞同;但 1976 年,美国的海斯和英布里以及英国的 N. J. 沙克尔顿解决了这个问题。他们研究了从印度洋的两个不同地方挖出的非常长的沉积物岩心,这两个地方都处在远离陆地的浅海中,因此没有来自附近海岸地区或较浅的海底的污染物质。

这些岩心是由 45 万多年期间连续沉积的物质组成的。人们看到,越靠岩心下部年代越久远。因此,可以研究微小的单细胞动物的遗骸,这些不同种类的单细胞动物是在不同的温度下繁盛起来的。根据这些遗骸的性质可以确定出温度。

还有,氧原子主要有两种不同的变体①,而这两种变体的比例随温度而变化。因此,通过测定岩心不同部位的氧原子比例,也可以确定海洋不同时期的温度。

两种测量温度的方法是一致的,而两种方法测出的结果与米兰科维奇周期非常相似。因此,地球可能相隔一段长时间就会出现一个发生冰川作用的“大冬季”,就好像每年有一次下雪的冬季一样。

但是,米兰科维奇周期为什么只在更新世期间发生,而在更新世之前完全没有任何冰川作用的 2 亿年中没有出现呢?

1953 年,尤因和唐提出,原因可能在于北半球的特殊地理条件。北极地区几乎全部是海洋,但却是一个被陆地包围着的海洋,四周是几个大的陆块。

---

① 指氧的同位素氧-16 和氧-18 ——译注

假设北冰洋比现在稍暖一些,只有很少一点海冰或者一点海冰也没有,是一片连绵不断的液态水面。于是北冰洋便成为水蒸气的来源,水蒸气在高空大气层中冷凝,然后以雪的形式降落。落回海洋的雪都融化了,但落在周围陆块上的雪却积聚起来,从而引起冰川作用:温度下降,北冰洋全部冻结。

在同样的温度下,冰比水释放的水蒸气少。如果北冰洋全部冻结,那么,空气中的水蒸气就会减少,雪也下得少。于是冰川开始后退,如果当时引发冰川消退作用,后退的速度会加快。

因此,只有当一个极区或两个极区有了被陆地包围的海洋时,米兰科维奇周期才有可能引起冰川活动时期。有可能有数亿年的时间没有这种被陆地包围的海洋,因而也没有冰川作用;后来,构造板块的移动开创了这种局面,由此开始了 100 多万年冰川有规律地前进和后退的时期。但这个有趣的说法至今未被完全接受。

地球温度的变化确实不太规律,变冷和变暖的趋势也不稳定。美国化学家比奇莱森和尤里一起测定了古代海生动物化石中氧原子两种变体的比例,以便测出这些动物生活的水的温度。到了 1950 年,尤里和他的研究小组已经把这项技术发展到了非常精确的程度,例如,他们通过对一个有几百万年历史的动物化石(一种已经灭绝的乌贼)的壳层所作的分析,确定了这个动物出生于夏天,生活了 4 年,在春天死去。

用这种"温度计"已经测定,1 亿年前世界海洋的平均温度为 70°F左右,然后逐渐变冷,1 000 万年以后降到 61°F;然后又上升,1 000 万年以后上升到 70°F。从那时以来,海洋的温度一直在下降。不管这种下降是由什么因素引起的,恐龙的灭绝可能和这个因素有关(恐龙可能适应于温暖和稳定的气候),而且这个因素可能促使那些能够维持恒定体温的温血鸟类和哺乳动物出现。

埃米里亚尼使用尤里的方法研究了从洋底岩心中取出的有孔

虫壳。他发现,3 000 万年前整个海洋温度约为 50℉,2 000 万年前 43℉,而现在是 35℉(见图 4-8)。

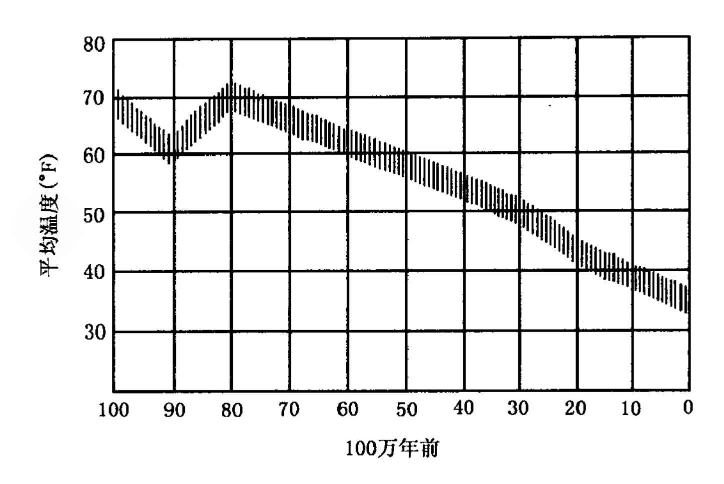


图 4-8 最近 1 亿年期间海洋温度的记录

这些长期的温度变化是由什么引起的呢?一种可能的解释是所谓的二氧化碳**温室效应**。二氧化碳能非常有效吸收红外线辐射。因此,当大气中有大量二氧化碳时,就会阻止被太阳晒热的地球在夜间将热量散发出去。结果是热量积聚起来。另一方面,当大气中的二氧化碳含量下降时,地球会逐渐变冷。

如果目前空气中的二氧化碳浓度增加一倍(从空气的 0.03% 增加到 0.05%),这个微小的变化足以使全球的温度升高 3℃,从而使大陆冰川全部迅速融化。如果二氧化碳减少到目前含量的一半,温度就会下降到足以使冰川再一次向南扩展到纽约市地区。

火山活动会把大量的二氧化碳释放到空气中;岩石的风化作用则吸收二氧化碳(于是形成石灰岩)。因此,这可能是长期气候变化的一对机制。强烈的火山活动时期会把大量的二氧化碳释放

到空气中,从而使地球开始变暖。与此相反,造山作用时代把大面积新的和未风化的岩石暴露在空气中,可以降低大气中二氧化碳的浓度。这后一过程可能发生在大约8000万年前的**中生代**末期(爬行动物时代),当时地球的温度开始长时期下降。

不管冰期的成因是什么,现在看来人类自己可能正在改变着未来的气候。美国物理学家普拉斯曾经指出,我们可能会向最后一次冰期告别,因为文明的火炉正在增加大气中的二氧化碳。目前,上亿个大烟囱在不停地把二氧化碳送进空气中;每年总量约为60亿吨,相当于火山释放的二氧化碳的200倍。普拉斯指出,自1900年以来,我们大气中的二氧化碳含量已经增加了10%,到2000年可能再增加10%。根据他的计算,这些二氧化碳加入阻止地球热量逃逸的"温室效应",将会使地球的平均温度每100年升高大约1.1℃。根据现有的记录(主要是北美洲和欧洲),在20世纪上半叶期间,地球的平均温度确实在按这个速率上升。如果按同样的速率继续变暖的话,大陆冰川可能会在1~2个世纪内全部消失。

在国际地球物理年中所作的调查似乎也表明,几乎所有的地方的冰川确实都在后退。根据1959年的报告,喜马拉雅山脉的一个大冰川从1935年以来已经后退了210米。其他一些冰川后退了300米,甚至600米。适应于在冰冷水域中生活的鱼类正在向北迁移,而且温带树木也正在向北推进。海平面每年都略有升高,正如所预料的那样是冰川融化的结果。现在海平面已经很高了,在涨潮时如果有强风暴出现,海水淹没纽约地铁的危险是非常可能发生的。

但是,从20世纪40年代初期开始,温度似乎又略有下降,因而1880—1940年期间温度增加的一半已经消除了。这一变化的原因可能是自1940年以来空气中的灰尘和烟雾增加了:尘埃截住

了阳光,在某种意义上来说也遮蔽了地球。看来人类对大气的两种不同类型的污染现在正在成为相互抵消的效应,至少在这个方面并且至少暂时是这样。

(潘书祥　译)

第五章 大 气

大气圈层

亚里士多德认为世界是由4个圈层所组成,即组成世界的四大元素为:地(固态球体)、水(海洋)、气(大气层)以及火(看不见的外层,偶尔以闪电形式出现时可以看见)。至于这4层以外的宇宙,亚里士多德则认为是由一种完美而超自然的以太所组成。

这样完整的结构没有任何空隙:地一结束,水便开始;等两者都结束,空气接着开始;空气完了,火接着开始;火结束了,以太便又跟着展开;如此一直到宇宙的尽头。这就是古人所谓"大自然厌恶真空"的观念。

观测大气

过去有一种把水从井中抽上来的抽水机,可以相当确切地用来说明这种"厌恶真空"的道理。在图5-1中,活塞紧密地安装在一个柱筒内,当抽水机臂向下压时,活塞向上升起,柱筒底部便形成真空状态;但是由于大自然厌恶真空,因此周围的水便冲开柱筒底部的一个单向阀门,充填原来真空的地方。如此反复地抽水,使柱筒内的水位愈升愈高,直到水由抽水机的嘴部流出。

根据亚里士多德的理论,应该可以用这种方法把水提升到任意高度。但是,矿工们却发现,他们把水由矿井底部抽上来时,无

论压水压得再久,再怎么用力气,始终无法把水抽到超过水源水平面 10 米以上。

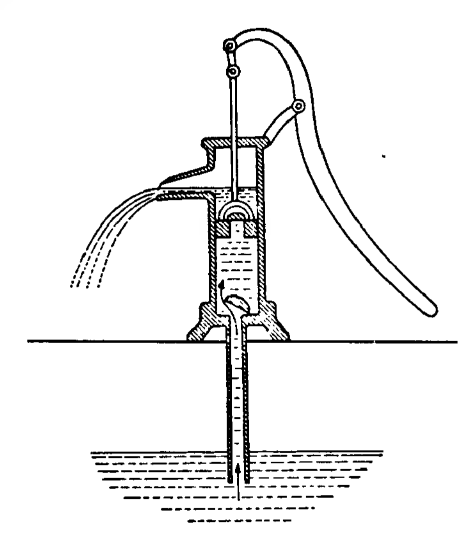


图 5-1 抽水机原理。当压抽水机臂把活塞拉起时,柱筒内即产生部分真空,水便由一个单向阀门进入柱筒内。如此反复动作,水面升到足够的高度时便由嘴部流出

伽利略在他漫长而充满强烈好奇心的一生的晚年,逐渐对这个令人困惑的问题感到兴趣。但他除了"大自然厌恶真空"很明显地只能达到某个特定限度之外,并没有得到其他任何结论。同时他也想知道,如果改用其他密度比水大的液体来代替时,这个限度是否会降低?但不幸的是,伽利略没来得及做这个实验便去世了。

1664 年,伽利略的学生托里拆利和维维阿尼做了这个实验。他们选择密度为水 13.5 倍的水银,把它装进一根长约 90 厘米的玻璃管内,用塞子塞住开口端,然后把玻璃管倒过来放进一个装满水银的盆子中,再把塞子拿掉;这时管子中的水银便开始流入盆

中,但当管中水银柱面下降到离盆中水银平面以上约 76 厘米(30 英寸)高时,水银便不再从管中流出,而维持在那个高度上。

最早的**气压计**便是利用这个方法制成的。现代的水银气压计与此也无本质上的不同。但过不多久就发现水银柱的高度并不总是恒定不变的。17 世纪 60 年代英国科学家胡克发现,当暴风雨来临之前,水银柱的高度就会下降。这可以说是科学的天气预报或所谓**气象学**的开端。

到底是什么东西在支撑水银柱呢?当时维维阿尼便认为是由于大气的重量压在盆中的液体上;这是一个革命性的想法,因为在亚里士多德的观念中,空气是没有重量的,而只是在地表上一个特殊的球形层次而已。现在我们已经知道,那约 10 米高的水柱或 76 厘米高的水银柱正是要测量的大气重量——即从海平面起向上,在相同截面积上空气柱的重量。

这个实验同样显示大自然并非在所有情况下都厌恶真空。当水银柱在管中降落时,管子的封闭端所形成的空间便是真空,其中除了含有极少量的水银蒸气外,并没有任何东西在里面。这也就是第一个人造真空即**托里拆利真空**。

从此,真空便立刻加入了科学贡献的行列中。1650 年,德国学者基歇尔证明声音在真空中无法传播,因而曾一度支持了亚里士多德的理论。10 年之后,波义耳证明轻的物体与重的物体在真空中下落的速度一样快,因而证明了伽利略的运动理论,而推翻了亚里士多德的观点。

如果空气的重量有一定的限度,那么它的高度也一定是有限的。实践证明大气的重量是 10^5 牛顿/米^2(14.78 磅/英寸^2)。据此,如果大气在垂直方向上的密度保持均匀,则大气层高度大约只有 8 公里(5 英里)左右。但是波义耳在 1662 年时已证明并非如此,因为压力会增加空气的密度。他把两臂长度不同的 U 形管竖

起(图 5－2),然后在 U 形管较高的一端倒入一些水银,于是水银便在较短的封闭端内压缩了一些空气。当他再倒进更多的水银时,空气体积便进一步被压缩,同时压力也增加了。波义耳发现,当水银重量增加越多,封闭端空气柱的体积便压缩得越小。经过更加精确地测量,波义耳证明当气体体积减为一半时,压力便增加为两倍。换句话说,体积与压力是成反比的(图 5－2)。这个历史性的发现被称为**波义耳定律**,它正是一系列发现的第一步,最后导致原子理论的诞生。正由于空气受压力后要减小体积,因此在海平面上空气的密度应最大。而随着高度的上升,因其上空气重量逐渐减少,因而大气上层的空气便越来越稀薄。这个规律由法国数学家帕斯卡在 1648 年最早予以证实。当时他把小舅裴利尔送到约 1 600 米(1 英里)高的山腰上,并且要他带上气压表沿途观测气压表的水银柱是如何随高度的增加而降低的。

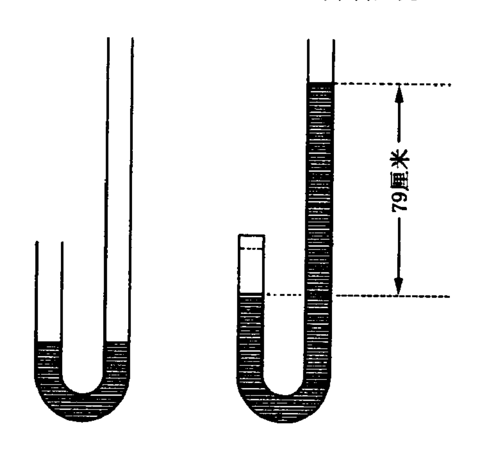


图 5－2 波义耳的实验图。将 U 形管的短(左)端塞住,向长(右)端中倒入水银时,那短端被封闭的空气便被压缩。波义耳证明了那短端内被封闭的空气体积与其压力成反比,此即为波义耳定律

理论计算的结果指出,如果在上升过程中温度一直保持不变

的话，则每上升19.3公里(12英里)的高度，大气压力将减为原来的1/10。换言之，在19.3公里高的地方，大气所能支撑水银柱的高度将由原来的76厘米降为76毫米。而在38.6公里处，降为7.6毫米；57.9公里高时则降为0.76毫米，依此类推。当到了173.8公里高度时，大气压力将大约只有0.000 000 076毫米水银柱高。这听起来似乎不大可能，但是即使如此，在173.8公里高度以上地球大气的重量仍有600万吨之多。

事实上，这些数字不过是大约估计而已。因为空气的温度是随高度而有变化的。然而，这些数字确实澄清了上述问题，同时也使我们知道了大气是没有确定的上界的，它们渐渐地消失在那接近真空的空间。一般流星的曳尾大约要到161公里(100英里)高度上才能被探测到，在那里大气压力只有地表的百万分之一，空气密度只有地面的十亿分之一，但其空气阻力却已足够使流星物质产生白热化的高温了。此外，由外层空间来的质点撞击造成的白热化气体所形成的北极光，则发生在海平面上805～966公里(500～600英里)的高空之中。

大气旅行

从很早以前开始，遨游天空一直就是人们热烈向往的愿望。风确实可以使树叶、羽毛和种子等较轻的物体在空中飞舞，而更让人印象深刻的则是那些会滑翔的动物，例如鼯鼠、袋鼯，乃至飞鱼，直到那些真正能够飞行的昆虫、蝙蝠以及鸟类。

人类企图模仿这些动物的渴望在神话及传说中留下了记载。例如神及恶魔按惯例总是能在空中来去自如，而天使、仙女们在插图中也都画有翅膀。另外，还有伊卡罗斯(见第三章)，飞马佩伽索斯，以及东方传说中的飞毯等都是。

风筝可以说是第一种至少能在天空中相当高地翱翔相当时间

的人造工具。它是把纸张或其他类似物质铺开并粘在轻而薄的木制骨架上,再加上稳定用的尾巴,以及控制它的细细长绳而构成。风筝似乎是在公元前4世纪时,由希腊哲学家阿契塔所发明的。

虽然风筝可以有许多实际用途,但几千年来一直主要是被用在娱乐方面。风筝可以在开旷地区把提灯带到空中作为信号之用;它也可以带着轻绳飞越过河流或峡谷,然后这些轻绳可以用来把较粗的绳索拉过河的对岸,直到桥建成为止。

1749年苏格兰天文学家威尔逊最早把风筝应用于科学目的。他把一个温度计装在风筝上,以测量某一高度的温度。更重要的是B.富兰克林1752年所放的风筝,我们将在后面第九章中再次谈到。

在此后的一个半世纪当中,风筝(或类似能用于滑翔的人工器具)虽因不够大且不够坚固,因而仍无法载人,但这个问题却在富兰克林时代以另一种方式解决了。

1782年,两位法国兄弟J.M.蒙戈尔费埃,在一个底部有开口的大袋子底下点火,使袋子里充满了热空气而逐渐上升,成功地施放了第一个气球。之后的几个月内,气球屡经改良,且改用密度仅为空气1/14的氢气,使得每公斤的氢气可以负载13公斤。因而这种有吊篮的氢气球已经可以载动物和人。

在第一个气球升空后的一年内,一个名叫J.杰弗里斯的美国人,乘坐带有气压计及其他仪器的氢气球飞越伦敦,途中还收集了各个高度上的空气。1864年,法国科学家盖·吕萨克上升到将近7240米(4.5英里)的高空,并取下了一些稀薄空气的样品。由于法国气球专家布朗夏尔在**气球时代**最颠峰的1785年发明了降落伞,而使得这种冒险行动较为安全。

然而,这个高度似乎已经是人们在开口吊篮气球中上升的极限了。有三个人在1875年上升到了9656米(6英里)的高空,结

果只有一名叫狄山迪尔的人在缺氧条件下幸存了下来。由于这名幸存者描述了在高空时因空气缺乏而产生的症状，**航空医学**便由此诞生。携带仪器的无人驾驶气球于 1892 年被设计出来并开始工作，它们能够上升到更高的高度，并从这些尚未探测的高度上带回有关温度以及气压的资料。

在最初上升的数公里高度之中，正如我们所预期的那样，温度是下降的。到了 11.3 公里(7 英里)左右，温度为 -55℃。但再上升，温度变化却令人感到惊讶：在这个高度以上，温度不但不下降，事实上反而有上升的趋势。

法国气象学家泰塞朗·德博尔早在 1902 年就提出大气可能有两层的假设：一层是包括风、云、暴风雨以及我们所熟悉的天气变化的不稳定下层。1908 年泰塞朗·德博尔称之为**对流层**(由希腊文“变化的层”而来)。另一层即是包括像氦、氢的轻气体副层的较稳定上层，泰塞朗·德博尔称之为**平流层**(即“含有多层”的意思)。他把温度停止下降的那个高度称为**对流层顶**(即“(温度)变化停止”之意)，或称之为对流层与平流层间的边界。后来发现，对流层顶的高度也是有变化的：由赤道地区的海平面上空约 16 公里左右到在两极地区上空只有大约 8 公里。

第二次世界大战期间，美国高空飞行轰炸机在紧挨对流层顶下方发现了一个令人注目的现象，即**急流**。它是一股强而稳定并以每小时将近 800 公里的速度自西向东吹的强风。事实上地球上急流有两支：一支在北半球，包括美国、地中海、中国北部等纬度的地区；另一支则在南半球，包括新西兰、阿根廷等纬度的地区。这些气流经常迂回曲折地流入比它平均路径更南或更北的涡漩之中。目前飞机常乘这股快速急流顺风飞行。但更重要的发现则是，急流对大气中较低层次上气团的运动有极大影响。这项知识立刻对天气预报艺术的提高产生了莫大的帮助。

因为人类无法在稀薄而寒冷的高空大气中生存,因此必须设计出一种气压、温度均保持与地面相同的密封舱。1931 年,皮卡德兄弟(A. 皮卡德和 J. F. 皮卡德)乘一个密封的吊篮气球上升到 17.7 公里的高空(其中的 A. 皮卡德在不久之后发明了深海潜水箱)。自此以后,使用比丝绸更轻且孔隙更小的塑料物质制造的新气球,能上升到更高的高空,且在高空停留更长的时间。1938 年,一个命名为“探险者 1 号”的气球飞升到大约 21 公里的高空中。到 1980 年为止,由人操纵的气球能够升到约 37.8 公里的高空,而无人操纵的气球升到了超过 51.5 公里的天空中。

由于能够上升得更高,于是人们发现,对流层顶以上近乎恒温的层次并不是无限地向上延伸的。平流层在大约 32 公里的高度便结束了,从这里再向上,温度又开始上升。

由平流层再向上,就是空气质量只占地球大气总量 2% 的**高层大气**。由于有了更长足的进步,高层大气在 20 世纪 40 年代,终于被新型的运载工具——火箭(见第三章)所穿越。

要读出记录高空状况仪器的最简单办法,就是把仪器自高空取下直接看。由风筝带上空中的仪器可以很简单的取下来,但是气球在这方面就不那么容易处理了,而火箭则根本不可能下降回来。当然,仪器盒也可采取从火箭中喷射出来从而单独降落回地面的方法,但这种方法不很可靠。事实上,火箭如果没有**遥测**技术的发明,那它在大气探测上是不可能有多大用处的。最早把遥测技术应用于大气研究的是苏联科学家莫尔恰诺夫,1925 年他把遥测仪器安装在气球上。

这种“远距离测量”的技术实际上就是把测量的状况(例如温度)转换成**电脉冲**,然后用无线电发回地面,再观察脉冲波强弱或间隔的变化情况。例如,温度的变化会影响到导线的电阻,也就改变了脉冲的特性。气压的变化同样可以由某种类型的脉冲波来传

送，这是因为空气能使导线冷却，而冷却的程度则视气压大小而定。辐射也能在探测器中发出脉冲，诸如此类皆是同样道理。现在这种遥测传送已经精密到使火箭除了交谈之外什么事都能做的地步。同时那些错综复杂的电信号也不得不交由快速的电子计算机加以处理。

火箭及遥测仪观测的结果显示，在平流层以上，海拔48.3公里高度处，温度上升到一个最高值，即约 - 10℃。然后在 80.5 公里高度时又下降到 - 90℃。这个温度先升后降的层次称为**中层**，这个名词是英国地球物理学家查普曼在 1950 年时所创造的。

中层以上，只剩下地球大气质量十万分之几的稀薄空气。但这里的大气原子虽然极稀少，温度却稳定地上升，到了 483 公里高度上，估计大约为 1 000℃左右，更高的地方温度可能还要高，于是该层被称为**热层**，它恰好与亚里士多德原来所指的火层相一致。当然，温度在这里已经并不意味着一般意义上的热，它只是表示质点运动速率的一种度量罢了。

升过 483 公里的高度，便进入了**外逸层**，这是斯皮策在 1949 年最先采用的名词。它延伸到大约 1 610 公里的高空，而且渐渐地消失于行星际的空间之中。

由于对大气知识的增加，使我们终于能够对天气真正做些事情，而不只是谈论而已。到目前为止，已经有一个小小的起步了。20 世纪 40 年代初期，美国科学家 V. J. 谢弗以及朗缪尔注意到，在温度非常低时，大气中会产生微小的细冰核，而雨滴正是在这种微核上由水汽凝成的。1946 年，一架载着固体二氧化碳的飞机，将粉末投入云层，使之先凝结成核再形成雨滴。这就是所谓的**播云造雨**。半小时以后真的下雨了。范内格特在不久之后发现，如果从地面上发生碘化银烟粒或直接在高空引入碘化银烟粒效果会更好，于是他改进了这项技术。这种人造雨能使干旱结束，当然在

播云前首先要有这种云层。1961 年,苏联的天文学家利用这种播云造雨的方法,成功地把天空中的一块乌云消去,从而很好地观测了日食。

其他关于**天气改造**的尝试,还包括**台风催化**,其目的是使台风夭折或至少减小它的强度(播云造雨还可用来使危害庄稼的冰雹不再形成,以及驱散云雾等等)。当然,我们总是希望这些努力的结果都能如愿以偿,但却从未获得确实的成功。再谨慎的天气改造[①]总会在帮助一些人的同时伤害另一些人,例如,农民要求下雨,但游乐园的主人可能并不希望如此。由此产生的诉讼案件对天气改造的规划产生了消极的影响。因此,在这个问题上前景仍然是不确定的。

火箭也不只是用于探测而已(虽然本书第三章中仅提到这种应用),它们同样也能够并且已经应用在人类每天必需的服务上了。事实上,某些形式的探测也有它直接的实际应用。如果我们把一颗人造卫星(用火箭)发射到轨道上,它不仅能用来观测太空,也可以把仪器转向地球。用这种方法我们首次看到整个地球(或至少在某个时刻可以清晰地看到大部分的地区),并得以完整地研究全球大气的循环。

1960 年 4 月 1 日,美国发射了第一颗"天气眼"气象卫星——**泰罗斯 1 号**(即电视红外观测卫星)。同年 11 月又发射了**泰罗斯 2 号**,并在 10 周内送回了超过两万张的地球表面及其覆盖云层的放大照片,其中包括一个在新西兰的气旋,以及当时在美国俄克拉何马州上空产生龙卷风的一个云团。而在 1961 年 7 月发射的**泰罗斯 3 号**,拍摄了 18 个热带风暴,该年 9 月它比一般传统方法早两天发现了加勒比海上空的正在发展的埃斯特飓风。于

① 应为人工影响天气。——译注

1964 年 8 月 28 日发射升空的更敏感的**雨云 1 号**卫星，它能发回在夜间拍摄的云层照片。此后，许多国家中数以百计的自动图像传送站纷纷建立并投入运行，如果没有这些卫星资料，今日的天气预报将会令人难以想象。现在美国每天每家报纸上都能刊出一幅卫星云图照片。今日的天气预报虽然在定量上并不完全正确，但已经不像 25 年前那样，只是一种粗略的猜想而已。

更吸引人且更有用的是，气象学家们已经能够及时发现并且追踪飓风的位置。这些强烈的风暴，现在比过去具有更大的破坏性，因为第二次世界大战以后，沿海地区建筑物林立，人口也更加稠密，因此要是没有对这些飓风位置以及动向的了解和预报，人们的生命及财产损失无疑会比现在要严重好几倍。（就空间计划的用途和价值来说，光是利用卫星追踪飓风所省下来的钱，就比空间计划本身的花费要多得多！）

卫星对地球上的其他用途也陆续被开发出来。早在 1945 年，英国科幻小说 A. C. 克拉克就指出卫星可用于转播，使无线电信号跨越大洲和大洋。只要有三个安置于适当战略地位的卫星，便能够覆盖整个世界。这在当时只是一个疯狂的梦想，却在 15 年后逐步实现了。1960 年 8 月 12 日，美国发射了**回声 1 号**，它是一个利用聚酯做成的薄气球，外表涂了铝。这个气球充气后直径达 30 多米，用来作为无线电波的被动反射器。这项成功计划的领导者就是贝尔电话实验室的波尔斯，他也曾用笔名写过科幻小说。

1962 年 7 月 10 日，美国发射了**电星 1 号**通信卫星，它除了反射电波之外也接收电波，并将接收的电波放大后再发射出去。借助于**电星 1 号**，电视节目终于第一次越过了大洋。1963 年 7 月 26 日，同步通信卫星**辛康 2 号**被发射到距地面35 890公里（22 300 英里）高空的卫星轨道上。它的轨道周期恰好是 24 小时，因此定位于大西洋上空，与地球作同步旋转。同步通信卫星**辛康3号**也以

同样同步的方式,布置在印度洋上空,利用这颗卫星,1964 年 10 月曾把日本奥运会实况转播到了美国。

更复杂的通信卫星**晨鸟号**在 1965 年 4 月 6 日发射升空,它拥有 240 个通信频道及一个电视频道可供使用。同年苏联也发射了一个通信卫星。到了 1970 年,由于卫星转播,电视、广播、无线电话基本上已成为全球性的通信工具,从而使地球真正成为"一个世界"。

卫星当然也可用来绘制地球表面及研究云层,卫星还可以大尺度地研究积雪、冰川移动以及一些地理上的详细资料。后者虽然没有前者明显,但却同样也是事实。根据这些地理上的详细资料,还可确定地下储油的地区。此外,卫星还可用来研究大范围的森林和农作物,那些有不正常现象或疾病分布的地区,也都可在卫星图片中精确地被指示出来。同时还可以找出发生森林火灾的地区,以及需要灌溉的区域等等。其他如海洋中的海流以及鱼群的移动等,同样都能用卫星来加以研究。正因为这些**地球资源卫星**是如此的重要,所以这也正是对质问为何面临许多"发生在自己家乡"的重大问题而却仍把大量金钱花费在空间的那些人的最直接的回答。因为毕竟这些问题只有从空间才能够做最佳的研究,并且找出解决的方法。

最后,在轨道上还出现了许多所谓的**间谍卫星**,用来侦察军队的行动、集结及储备等状况。更有不少人计划使空间成为另一个战场,甚至发展出**杀手卫星**,用来击落敌人的卫星或安置更先进的武器于空间,以便能比地基武器进行更迅速的攻击。

空气中的气体

低层大气

直到现代,空气总被人们认为是单纯、均匀的物质。到 17 世

纪初,比利时佛兰芒族化学家范黑尔蒙特怀疑空气中存在着化学性质不同的气体。他研究发酵果汁中所放出的气体(二氧化碳),认为那是一种新的物质。事实上,他是第一个使用**气体**这个名词的人,他认为气体这个词是大约在1620年间由希腊字"浑沌"——宇宙形成时生成的原始物质而来的。1756年,苏格兰化学家布莱克充分地研究了二氧化碳,并确认它是与空气不同的气体,甚至他还指出了空气中也有这种气体少量存在。10年之后,卡文迪什研究了一种大气中尚未发现的可燃气体,后来命名为**氢**。这表明了大气成分的复杂性。

第一个证明空气是混合气体的人,是法国化学家拉瓦锡。他在18世纪70年代所做的实验中,把汞放在密闭容器中加热,发现汞与部分空气化合,生成一种红色的粉末(即**氧化汞**),但原来空气的4/5仍是气体。再继续加热,也无法继续消耗这些剩余气体。蜡烛无法在其中燃烧,老鼠也无法在其中生存。

拉瓦锡于是认定空气是由两种气体组成的。在他的实验中与汞化合的那1/5气体,是空气中支持生物生存与燃烧的那一部分,这一部分他称之为**氧**,其余部分他称之为**氮**(源自希腊文,意思是"无生命")。不久后,氮就熟为人知,因为这种物质存在于**硝酸钠**(即**硝石**)之中。实际上这两种气体都已在这10年内发现过,氮是在1772年由苏格兰医生拉瑟福德所发现,氧则是1774年由英国一位论派牧师普里斯特利所发现。

仅是这些,就足以证明地球上的大气在太阳系中是独一无二的。除了地球以外,太阳系中其他七个星球也已知有大气存在。木星、土星、天王星以及海王星上均可能有氢气层(木星和土星上肯定有氢气层),并有少量氦成分。火星、金星则有二氧化碳大气层,并含少量的氮成分。土卫六则有氮气层,并含少量的甲烷成分。只有地球的大气含有两种主要气体,也只有地球的大气中氧

是一种主要成分。氧是一种活泼的气体,由普通的化学常识可知,它会与其他元素化合而从大气中消失。这在本章后面还要讨论,现在让我们继续探讨空气中化学成分的组成。

在19世纪中叶以前,法国化学家勒尼奥分析了世界各地的空气样本,发现各地的空气成分均是相同的。氧的含量是20.9%,而空气中的其余部分除了微量二氧化碳以外,均假定都是氮。

氮是一种比较具有惰性的气体,即它不易于与其他物质化合。但它仍然可以被迫与某些物质化合。例如把它和镁一起加热后便生成固体的**氮化镁**。在拉瓦锡的发现后几年,卡文迪什尝试利用电火花的影响,使氧、氮化合,把氮用尽。但他失败了,不管他怎么做,总是无法将略小于原量1%的残余气泡除去。于是他认为,这可能是另一种未知气体,而且比氮的惰性更大。但是,并非每个人都像卡文迪什那样对这个问题感兴趣,因此这个谜当时并未继续研究下去,从而使这种残余气体的性质,在此后的一个世纪中都没有弄清楚。

1882年,英国物理学家瑞利勋爵把从空气中取得的氮的密度和某些特定化合物中氮的密度相比较时,惊讶地发现空气中的氮的密度肯定要大。这是否是因为从空气中得到的氮不纯,含有其他较少量但较重的气体呢?一位苏格兰化学家拉姆齐帮助瑞利勋爵进一步研究了这个问题。他们把空气中耗尽氮后所剩下的少量气体加热,结果在光谱分析中发现了一组新的亮线,那是不属于任何已知元素的光谱线。他们把这个新发现的极不活泼的元素称为**氩**,由意为"迟钝"的希腊字演变而来。

氩几乎完全地说明了空气中剩下的1%未知气体。但大气中仍会有好几种待找的痕量气体成分,只不过每种成分大都只占百万分之几而已。在1890年间拉姆齐继续发现了另外4种更惰性的气体:**氖**、**氪**、**氙**,以及30多年前就在太阳光谱中发现的**氦**。近

几十年来，由红外线光谱仪又发现了其他3种气体：**氧化亚氮**（即笑气），其来源不太清楚，以及由有机物腐败产生的**甲烷**和**一氧化碳**。甲烷乃是在沼泽地释放出来的，另外据估计，每年牛群和别的大动物肠子中排出大约4 500万吨同样的气体进入大气之中。而一氧化碳则多半是人为造成的，即由于木柴、煤或汽油等的不完全燃烧所产生的。

平流层

到目前为止，我们只探讨了最低层大气的组成，平流层的情况又如何呢？泰塞朗·德博尔相信那里会有一定数量的氦和氢，漂浮在一些比较重的气体上面。但是他错了。在20世纪30年代中期，苏联的气象专家在上层平流层取回了一些空气样本，证实了其组成仍和对流层相同，即氧和氮以1:4的比例组成。

但是仍有许多理由使人相信在更高的高层大气中仍有特殊的气体存在，其中一个理由就是**气辉**现象。这是在整个夜空中所出现的非常微弱而普遍的亮光，即使无月夜也是如此。大气气辉的总亮度显著地比星星大，只是因为它分散漫射，以致于除了灵敏聚光的天文仪器外，不容易观测到。

多年来这个光的来源一直是个谜。1928年，天文学家斯里弗成功地在气辉中探测到一些奇异的光谱线，与W.哈金斯在1864年于星云中所发现的光谱线相同，因而被认为是一个未知的元素，称之为**氙**。1927年，通过实验室实验，美国天文学家I.S.鲍恩指出，这条光谱线来自氧原子，也就是以单独一个原子形式存在的氧，而不是一般双原子即以分子形式存在的氧。同样地，在大气气辉中找到的其他光谱线，也证实是来自氮原子。在高层大气中的氧原子以及氮原子，是由于太阳的高能辐射使得分子分裂成为单一的原子——这种可能性是查普曼在1931年首次提出的。很幸

运,这些高能辐射在到达低层大气之前就已经被吸收或减弱了。

查普曼认为,大气气辉是白天被太阳能所分裂的原子,在晚上重新结合之后所放出来的。在这个重新结合的过程中,原子放出了在分裂时所吸收的能量,因此,大气气辉可以说是太阳光以一种新而特殊的形式出现的滞后和微弱的回复。1956 年在席里可夫的领导下,在实验室中和利用火箭在高层大气中进行了实验,为这个理论提供了最直接的证据。由火箭所携带的光谱仪,在 96.6 公里(60 英里)的高空非常清楚地记录下氧原子的绿色光谱。在这里氮只有很少一部分以原子形式存在,因为氮分子彼此结合的能力要比氧来得强。但是到了 153 公里(95 英里)的高空,氮原子的红色光谱线就相当强烈了。

斯里弗还在大气气辉中发现了类似于我们已知的钠光谱线。由于在高空钠的存在似乎是不可能的事,因此使事态陷入了困惑之中,究竟钠在高层大气中起些什么作用呢?因为它根本不是气体,而是一种非常活泼的金属,以致于在地面上无法单独存在,通常都和其他元素化合在一起,最常见的是**氯化钠**,也就是一般餐桌上的食盐。到了 1938 年,法国科学家证实那确实是和钠一模一样的光谱线。不论是否可能,钠确实存在于高层大气中。火箭实验也证实了这件事,他们使用的光谱仪无误地记录下了钠的黄色光谱线,其中以 88.5 公里高度处最为强烈。钠究竟从何而来?仍然是一个谜,也许是来自含盐的海水浪花的水沫,或是来自气化的陨石?更令人困惑的是 1950 年在大气的气辉中又发现了锂,一种钠属的稀有元素。

在实验过程中,席里可夫小组制造出了人造气辉,他们把火箭发射到若干公里的高空中,然后释放出一氧化氮气体云,它加速了高层大气中氧原子的重新结合,在地面上的人便很容易看到由此产生的亮光。同时一个以钠蒸气所做的类似试验也成功了,它产

生了清晰可见的黄色光芒。1959年10月，苏联科学家发射**月球3号**探测器时，就是利用释放钠蒸气云作为它进入轨道时的可见信号的。

在大气的稍低层次上，原子氧不见了。但是太阳辐射仍具足够的能量，因而导致3原子氧——俗称**臭氧**的诞生。臭氧的浓度在24公里处最大，因而此处称为臭氧层。这是1913年由法国物理学家法布里首次发现的。这里的臭氧含量虽然只占空气总量的1/4 000 000，但已足以吸收掉大量紫外线，从而保护了地球表面的生命。

臭氧是由氧原子(单原子)和氧分子(双原子)结合而成。因为它并不稳定，所以无法大量积累。这种3原子的氧分子很容易因太阳光作用，以及大气中自然产生的微量一氧化氮，或者其他化学物质的作用，而分解成更稳定的双原子形式。臭氧不断形成与分解的平衡，使臭氧层中总是维持一定浓度的臭氧。由于臭氧大量遮蔽吸收了太阳光中的紫外线(紫外线会把一些对生命组织很重要的纤弱分子破坏掉)，因而保护了地球上的生命。这种过程自氧首次在地球大气中大量出现以来就已经开始了。

臭氧层位于对流层以上不远，其高度的纬度分布和对流层顶也相同：两极最低，赤道最高。臭氧浓度亦在两极地区最高，而赤道地区因阳光分解作用最强而浓度最低。

如果因为人类科技所产生的某些物质加速了大气中臭氧分解的速度，因而削弱了臭氧层的遮蔽吸收效应，将是非常危险的。因为遮蔽效应的减弱将造成到达地面的紫外线增加，从而造成皮肤癌发病率的上升，尤其是那些皮肤白皙的人更加如此。据估计，臭氧遮蔽的效应减少5%时，地球上每年大约会增加50万个皮肤癌的病例。紫外线的强度增加，又会影响到海水表层的微生物，如一些浮游生物，这可能会带来可怕的后果，因为这些浮游生物乃是海

洋生态中食物链的基础,在某种程度上也是陆地上食物链的基础。

因世界科技发展而影响到臭氧层的危险确实是存在的,喷气飞机在平流层中飞行,以及火箭穿过大气层进入空间时,这些运载工具所排放出来进入高层大气的化学物质,都可设想到会加速臭氧层的破坏。在1970年初,这个可能性就被用来作为反对发展超音速飞机的一个理由。

1974年,又意外地发现喷雾器可能也具有同样的危险性。这种器具使用封闭的氟里昂(我们将在后面第十一章再来讨论这种气体)作为压力源,将瓶中的物质,如发水、除臭剂、空气清洁剂等呈雾状喷射出来。在化学上,氟里昂本身是无害的,它可看作是一种无色、无臭、不活泼、不起化学作用和对人类没有影响的物质。每年大约有77 110万公斤的氟里昂从各种器具中散布进入大气中。

这种不与任何东西反应的气体,慢慢地进入大气层,最终来到了臭氧层,在这里它便可能加速臭氧层的分解破坏。这个可能性源于实验室中的实验,至于在真正的高层大气中是否真的如此,仍然无法确定。但是这个可能性总是表示了一种危机,如果以一种漫不经心的态度去对待它,将会造成极大的危险。自从有了这个争论之后,氟里昂喷雾器的使用数量便大大地减少了。

然而,氟里昂却仍大量地在空调及电冰箱冷冻方面使用,而这方面是不易不用或被取代的。因此臭氧层仍受到威胁,因为这些氟里昂一旦生成,迟早会排入到大气层之中。

电离层

到了更高空,臭氧并不是惟一的大气成分,更远程的火箭实验证实,泰塞朗·德博尔关于氦气层与氢气层的猜测是对的,只是位置弄错了。由322公里(200英里)上升到966公里(600英里)的

高空，大气已经稀薄到接近真空。在这里有一层氦气层，现在叫做**日光层**。这一层的存在，是1961年由比利时物理学家尼柯列特由**回声1号**卫星所受摩擦阻力而推断出来的。而这个推断则由1963年4月2日发射的**探险者17号**对其周围稀薄气体环境的分析而得到了证实。

在日光层上方，是一层更稀薄的氢气层次，叫做**质子层**，该层约向上扩展到64370公里(40000英里)，然后便逐渐过渡到通常星际空间的密度。

在高温高能的辐射下，不仅能迫使原子分裂或重新结合，也能将原子的电子轰击掉，从而把原子离子化。失掉电子的原子称为**离子**，不同于一般带有一个电子的正常原子。离子这个词最早由英国学者休厄尔在1830年所采用，系由希腊词"旅行者"演变而来。其原因是因为当电流通过带有离子的溶液时，带正电的离子会朝一个方向运动，而带负电的离子则朝另一个方向运动。

一位名叫阿伦尼乌斯的年轻的瑞典化学系学生，在1884年第一次提出离子乃是带电的原子，用来作为某些特定溶液能够导电的解释。在他的哲学博士论文中所提出的这种观念是如此具有革命性，以致于教授们几乎不让他的论文通过。由于当时原子中带电的质点(电子)尚未被发现，因此带电原子的概念显得十分可笑。最后阿伦尼乌斯还是得到了学位，但是以刚好通过的最低成绩得到的。

直到19世纪90年代末期电子被发现之后(见第六章)，阿伦尼乌斯的理论立即显得惊人的合理。这篇19年前差点使他得不到学位的论文，却使他在1903年荣获了诺贝尔化学奖。我们不得不承认，这听起来好像是不可能发生的电影剧本情节，但在科学发展的历史中，却确实有许多类似这种使好莱坞都显得缺乏想象力的小插曲。

一直到马可尼开始他的无线电实验之后,才发现大气中存在有离子。1901 年 12 月 12 日,他从康沃尔发射无线电信号,横越了 3 380 公里的大西洋到达纽芬兰,震惊了科学家们。无线电波是沿直线进行的,那么电波是怎样沿地球的曲面传送到纽芬兰的呢?

一位英国物理学家亥维赛以及一位美国电机工程师肯涅利不久后提出,无线电信号可由高层大气中的带电质点层反射回来。该质点层被称为**肯涅利-亥维赛层**,但直到 1922 年才最终找到它的位置,英国物理学家阿普顿在研究无线电传输的奇异衰减现象时发现了此层的存在。他认为,这种衰减现象是两种相同信号互相干涉的结果:一种是直接来自发射器的信号,另一种则是由高层大气反射回来的信号。这个延迟到达的反射波和原波之间有相差存在,于是两波部分地互相抵消,造成了信号的衰减。

要找到这个反射层的高度并不困难,阿普顿所需要做的只是发射这样一个信号,其波长能使直接发射信号与反射信号恰好抵消,也就是这两个信号能恰好在异相时会合。根据所发信号的波长和已知的无线电波速,他便能计算出这两组波传播距离的差异。用此方法,他在 1924 年确定肯涅利-亥维赛层的高度大约是 105 公里(65 英里)。

这种无线电信号衰减的现象通常发生在夜间。1926 年阿普顿发现,接近傍晚时无线电波并不是由肯涅利-亥维赛层而是由更高层(现在有时称**阿普顿层**)反射回来(图 5 - 3),这层高度约为 225 公里(140 英里)。

所有的这些发现,使阿普顿获得了 1947 年诺贝尔物理学奖。他划定了大气中称为电离层的重要层次。电离层这个名词是苏格兰物理学家沃森·瓦特在 1930 年引用的,它包括了后来命名的**中层**及**热层**。现在则分为好几层,平流层以上到约 105 公里(65 英

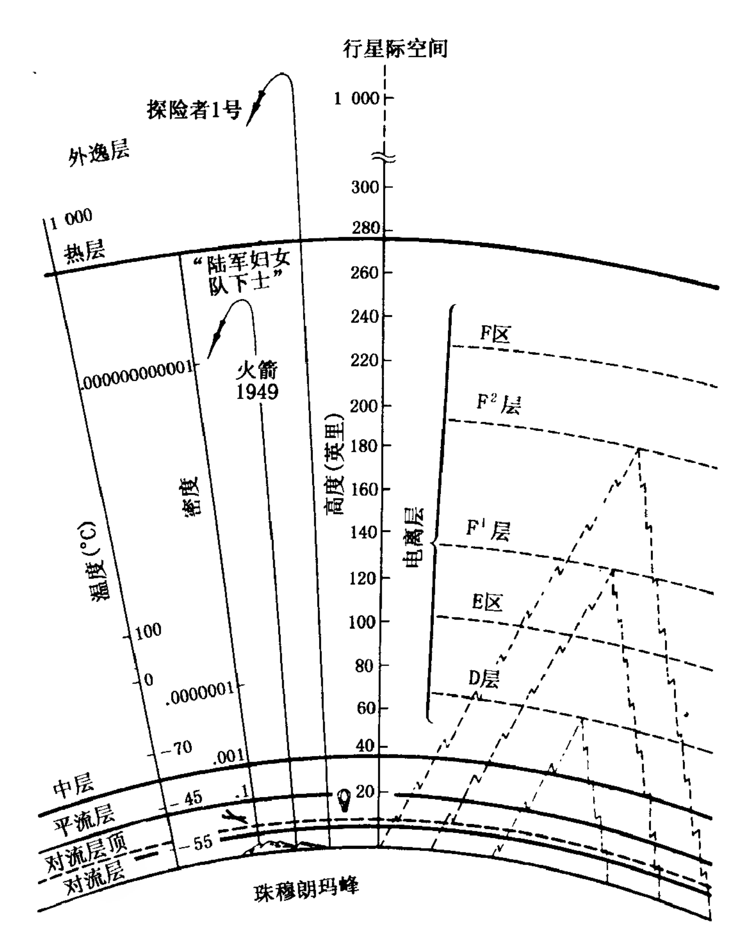


图 5-3　大气层剖面图。锯齿线代表电离层中肯涅利-亥维赛层及阿普顿层反射的无线电信号。空气密度随高度增加而减小，以海平面上大气压的百分比表示

里)是 **D 区**，在这之上是肯涅利-亥维赛层，称为 **D 层**。D 层以上

一直到约 225 公里(140 英里)左右是 **E 区**。这是一个离子相当稀少的过渡地带。接下来就是阿普顿层：包括 225 公里高的 **F_1 层**及 322 公里(200 英里)高的 **F_2 层**。F_1 层离子最丰富，F_2 层则只有在白天时才显著增强，在这两层之上则是 **F 区**。

以上这几层只能反射与吸收一般无线电台发射的长波，像电视所用的短波则大部分能穿透过去。所以，电视播放的范围有限，但这个限制可用天空中运行的卫星转播站来补救，使现场电视节目得以横越大洋和大陆。同样地，由空间传来的无线电波，例如来自射电星的，也能穿过电离层，否则，地球上便不能发展出射电天文学。

经过一整天的太阳辐射效应之后，电离层在白天结束时达到最强，但黎明时又减弱，因为大量离子和电子又会重新结合。太阳上的扰动也会强化传向地球的质点流和高能辐射，从而使离子层更强更厚。在这电离层以上的层次也闪烁着极光的景象。在发生这些电子风暴时，地面上无线电波的长距离传播都会受到干扰，有时甚至连整个信号都中断了。

事实证明电离层只是环绕地球的辐射带之中的一条。至于大气层之外的情形又如何呢？1958 年，探测卫星在过去认为是“空空洞洞”的太空发现了一项令人惊奇的事实。为了理解这个事实，我们现在暂时先离开本题，来谈一谈“磁”这个主题。

磁　　铁

磁铁的名称来自古希腊马格尼西亚镇，最早的**天然磁石**就是在那里发现的。这是一种具有天然磁性的氧化铁，传说在公元前 550 年米利都人泰勒斯是第一位描述磁铁的哲学家。

磁与电

古代的人们发现,经天然磁石摩擦过的钢针能够被磁化,而且如果将这根针放置在某一转轴上,使其在水平面上自由转动,它将会静止在近乎南北的方向上。这种针对船员很有用处,虽然波里尼西亚人不靠指南针也能设法逐岛跨越太平洋,但实际上罗盘已经成为海上航行不可缺少的物品。

没有人知道是谁首先把这样的一根磁针放置在一个旋转的轴上,并且把它密封在一个盒子中而制成罗盘。中国人被认为是第一个制成指南针的人,并且把它传给阿拉伯人,再由阿拉伯人传到欧洲人手中。但无论如何,在12世纪时,罗盘在欧洲已经开始使用。而且在1269年,由一位以拉丁文名字闻名的法国学者佩雷格里诺斯作了详细的描述。佩雷格里诺斯称磁铁指北的那一端为北极(或N极),另一端为南极(或S极)。

人们自然会问为什么磁针会指向北方呢?由于磁铁会吸引其他的磁铁,因此有人认为有一座巨大的磁山位于磁针所遥指的北方(在《**天方夜谭**》水手辛巴达的故事里讲的大概就是这样一座山)。有些人甚至更浪漫地赋予磁石以灵魂及生命。

对磁铁的科学研究开始于吉伯,他是伊丽莎白一世的宫廷医生,也正是他发现地球本身就是一个巨大的磁铁。他安装了一根经过磁化的针,使它能在垂直的方向上转动。这就是所谓的**磁倾仪**。这种磁针在北极一端倾向地面,产生一个倾角——**磁倾角**。当他使用一个球形的天然磁石作为地球的模型时,吉伯发现当磁针放在他的模型地球的北半球之上时,磁针的倾斜表现与前面所述完全相同。1600年,吉伯出版了一本名为《**磁铁**》的经典著作,公布了这一发现。

有很长一段时间,科学家推测地球内部可能有一块巨大的铁质磁石作为核心。虽然地球确实具有一个铁质核心,但现已确定

这个核心不可能是磁铁,因为铁被加热到760℃时,便丧失强烈的磁性,即所谓**铁磁性**,而地心的温度至少有1000℃。

一种物质失去其磁性时的温度叫做**居里温度**,这个特性是在1895年由皮埃尔·居里最先发现的。钴和镍,在许多方面都与铁相似,也都是铁磁性物质。镍的居里温度是356℃,钴则为1075℃。在低温时,某些其他金属也具有铁磁性,例如在-188℃以下,镝就具有铁磁性。

一般而言,磁性是原子本身的一种特性。但在大部分物质中,这些具有磁性的原子都是随机排列的,结果大部分的磁效应都互相抵消了。即使如此,还是能经常显示出微弱的磁性来,这就是所谓的**顺磁性**。磁性的强度是以**磁导率**来表示的。将真空的磁导率定为1.00,一般的顺磁性物质的磁导率则在1.00与1.01之间。

铁磁性物质则有高得多的磁导率。镍的磁导率是40,钴是55,铁则为数千。1907年法国物理学家外斯假设在这些物质中存在着**磁畴**,一些很小的区域,其直径大约在0.001厘米~0.1厘米之间(现已确切地探测出来)。在这个范围内原子磁体排成一列,因而互相增强,使整个磁场也随着增强。而在一般未磁化的铁中,这些磁畴本身都杂乱地排列着,因此互相抵消了磁效应。当这些磁畴受到其他磁铁的作用时,便会有规则地排列起来,于是铁就被磁化了。在磁分子重新组合的过程中,磁力确实会产生一些喀哒声与咝咝声,这些声音经过适当放大之后可以被测出来。我们称这种现象为**巴克好森效应**,是德国物理学家巴克好森发现的。

在**反铁磁物质**中,例如锰,它的磁畴也都排成一列,只是每一磁畴的极性互相交错,因此大部分磁性都抵消了。但在某一特定温度以上这些物质也会失去其反铁磁性,而变成顺磁性。

既然地球的铁核本身不是一个永久磁铁,且也已超过了居里温度,那么只能用其他方法来解释地球影响罗盘指针的能力了。

这个解释方法可从发现磁电关系的英国科学家法拉第的研究中发展出来。

在19世纪20年代，法拉第开始进行佩雷格里诺斯首次描述的那个实验。这个实验到现代仍然使许多学物理的年轻学生觉得很有趣。那是把一些铁粉撒在一张纸上，纸下放一个磁铁。轻轻地敲击这张纸，经过振动后的铁粉就有排列在磁铁北极到南极之弧线上的倾向。法拉第认为这就是真正的**磁力线**，由这种线形成**磁场**。

法拉第一直被丹麦物理学家奥斯特在1820年观察到的磁现象所吸引。当时奥斯特看到，当导线上有电流通过时会使罗盘指针偏转。法拉第得出结论，电流会在导线周围产生磁力线。

安培在奥斯特的发现之后，立刻开始研究载流导线，这使法拉第更加确信自己的想法。安培指出，两条载有同向电流的平行导线会互相吸引，载有相反电流的导线则互相排斥。这与两个磁铁的北极（或两个磁铁的南极）在一起时会相互排斥，而一个磁铁的北极与另一个磁铁的南极在一起时则会互相吸引的情况非常相似。更有意思的是，安培证实，当给一个圆筒形的线圈通过电流时，它的状况就像是一个磁铁棒一样。为了纪念他的研究，1881年把电流强度的单位正式定名为**安培**。

后来，法拉第想到（法拉第是科学历史上最有直觉能力的科学家），如果确实如此，如果电流能产生磁场，就像载流导线能表现得像磁铁一样，那么反过来是否也行呢？难道磁铁就不能像化学电池一样也产生电流吗？

1831年，法拉第做了一个可以说是改变人类历史进程的实验。他把两个线圈分别缠绕在一个铁环的两段上，然后把第一个线圈接上电池。之所以这样做是因为他认为如果在第一个线圈上通上电流，将会在铁环内产生磁力线，而感应出来的磁性应该在第

二个线圈中产生电流。为了测出这个电流,他把第二个线圈上接上了**电流计**——由德国物理学家施魏格于1820年设计的用以测量电流的一种仪器。

但是这个实验并不像法拉第所预期的那样进行,第一个线圈中的电流并没有在第二个线圈中产生任何电流。但是法拉第却注意到,在他接通电流的那一刹那,电流计指针迅速地跳动了一下,而当他切断电流时,指针却朝相反的方向也跳动了一下。于是他便立刻猜想到,是磁力线在导线中的运动而不是磁性本身产生电流。当电流在第一个线圈流动时,会产生一个磁场,当磁场扩张并横切第二个线圈时,就在其中产生了短暂的电流。相反地,当来自电池中的电流被切断时,那渐渐消失的磁力线又横切过第二个线圈,于是产生了另一次短暂的电流,而且方向恰好与前次的电流相反。

于是法拉第发现了电感原理,并且创造出第一个**变压器**。他接着用一根永久磁铁在线圈中移入移出,而更明确地证实了这个现象。虽然没有电源,但只要磁力线横切过线圈,就会有电流在线圈中流动(图5-4)。

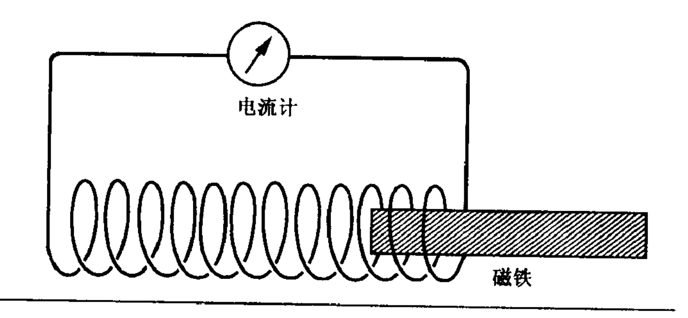


图5-4 法拉第电磁感应实验之一。当磁棒在线圈中移入移出时,由于导线切割磁力线而在线圈中产生电流

法拉第的发现不仅直接导致发电机的发明，而且也为麦克斯韦的电磁理论奠定了基础。这个理论把光以及其他形式的射线（例如无线电波）统一起来，形成了**电磁辐射**的概念。

地球的磁场

现在，由磁和电的密切关系，我们就可以明白地球的磁力现象。指南针已循迹描出了地球的磁力线，从位于加拿大北部的**磁北极**出发，一直到位于南极大陆边缘的**磁南极**为止。这两个磁极偏离地理两极约15个纬度。而地球的磁场已经由火箭所携带的**磁力计**在高空中测出来。最新的观点认为，地球的磁力可能源于内部深处的电流。

物理学家埃尔萨塞提出，地球本身的自转使内部熔化状态的铁核形成自西向东转的旋涡。这旋涡便产生了同样由西向东流动的电流。这就像法拉第的线圈中产生磁力线一样，在地球内部旋转的电流也产生磁力线，因此产生了一个由北到南的内部等效磁铁。这个等效磁铁说明了地球上普遍存在的磁场为什么是大约沿着地轴，以致于磁极与地理上的南北极非常接近（图5-5）。

太阳也有一总的磁场，强度大约是地球磁场的2～3倍。而太阳上局部的磁场则显然与太阳黑子有关。其强度约为地球的数千倍。由于我们知道强磁性会影响放射出的光波的波长，这就使我们能研究这些磁场。而这些研究的结果告诉我们，太阳里也有电荷环形流动。

实际上，太阳黑子有很多令人费解的特征。一旦这些局部磁场能以天文学的尺度加以解决时，这些难以捉摸的特征所产生原因便能得出解答。在太阳黑子的循环过程中，这些黑子只出现在特定的纬度上，而这些纬度也随着循环运动而位移。这些黑子有

一定的磁方位。并且在一个新的循环过程开始时黑子的磁力位会发生倒转。因此,由某个磁方位的极点到下次同样一个磁方位的极点为一个周期,平均为 21 年左右。有关黑子活动的原因目前尚不十分清楚。

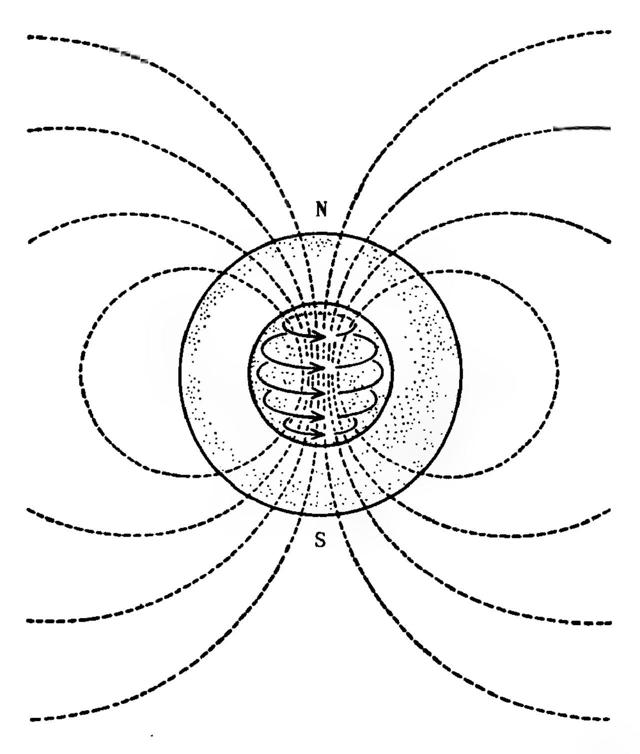


图 5-5 埃尔萨塞的地球磁场产生理论。熔融的镍-铁地核物质的运动产生了电流,然后再由电流产生磁力线。虚线表示地球的磁场

我们并非一定要在太阳上寻找有关磁场之谜的答案。地球本身就存在着这个问题。例如,为什么磁极不与地理的两极一致呢?磁北极与地理北极相距约 1 600 公里,磁南极与地理南极同样也

相距约 1 600 公里。而且这两个磁极在地球球体上并不正好相对。一条贯穿地球连接这两个磁极的直线——**磁轴**——也不通过地球中心。

此外,当我们沿着东西方向行走时,指南针会发生偏离**真北**(地理北极方向)的不规则变化。事实上,哥伦布在第一次航行时,罗盘就曾发生偏移,但他瞒着他的水手们,以免他们因害怕而迫使他返航。

这是使用磁性罗盘定向不能非常准确的原因之一。1911 年,一种非磁性指示方向的方法由美国发明家斯佩里研制出来。利用厚缘轮快速旋转时的一种倾向可以抵消它的旋转面由地球自转所引起的改变。这种厚缘轮就是一种**回转仪**,也称**陀螺仪**,它是由首先证明地球自转的傅科研究出来的。斯佩里利用了它的上述优点,制成了**陀螺罗经**,使指针维持在某一确定方向上,为船舰及火箭导航。

尽管磁罗盘不是尽善尽美,但它还是为人类服务了好几个世纪。磁针偏离真北的程度还是可以容许的。哥伦布之后一个世纪,也就是 1851 年,英国人诺曼完成了第一张表示世界各地的**磁偏角**的地图,用以指出指南针在世界各地所指示的实际方向。将地球上所有磁偏角相同的点连接起来就得到**等偏角线**,它弯弯曲曲地由磁北极伸展到磁南极。

不幸的是,这样的地图必须定期修改。因为即使是在一个地点上磁偏角也会随时间而改变。例如伦敦的磁偏角在两个世纪中移动了 32 弧度——1600 年时它位于北偏东 8 度,并且稳定地按逆时针方向旋转,到 1800 年它变成北偏西 24 度,从那时起,它又反向变化,到 1950 年则变成只有北偏西8 度。

磁倾角在地球上的任一点也会随时间缓慢地变化。因此地图上显示相同倾度的线——**等倾线**也必须不断地修正。此外,地球

磁场的强度会随纬度增加而增加,接近磁极的强度是赤道附近地区的3倍。磁场强度也随时间不断改变,因此**等磁力线**图也要定期修正。

就像有关地球磁场的任何东西一样,地球的整个磁场的强度也在改变。目前,它的强度在不断地减弱之中。从1670年以来,它的整个磁场强度已经减弱了总强度的15%。如果这样继续下去,大约到4000年,磁场的强度将变成零。到那时候又将如何呢?它将会继续减弱下去,也就是说会使磁北极反转而位于南极大陆,并使磁南极反转位于北极吗?换句话说,地球的磁场将会周期性的减弱、反转、增强、减弱、反转……如此持续不断地变化吗?

一种用来说明是否真的如此变化的方法就是研究火山熔岩。当熔岩冷却时,结晶就靠着磁场的作用而形成整齐的排列。早在1906年时,法国物理学家布吕纳就注意到,某些岩石是被**与地球磁场方向相反**的磁场所磁化的。当时人们对这一发现并不重视,因为它似乎不太合理,但是现在却是不容否认的事实。这些暴露出来的岩石使我们知道,地球的磁场不仅曾经反转过,而且已经反转了许多次:在过去的400万年里,地球磁场就以不规律的时间间隔反转了9次。

这方面最引人注目的发现是在海底。如果熔化的岩石确实穿透全球大断层而扩散开来,那么当一个人由这个断层向东或向西走时,他一定会碰到那很早以前就缓慢固化了的岩石。根据对这些岩石的磁性排列的研究,我们的确可以发现,各次反转呈条状分布,由断层逐渐向外缓慢发生。不同磁性的岩石带之间的时间间隔大约在5万～200万年之间不等,并且对称地发生于断层两侧,呈镜像对称形式。到目前为止,这些现象惟一合理的解释就是海底正在扩张,并确有磁场反转。

然而,确定反转这一事实毕竟要比找出它发生的原因来得容

易。

除了这种长时间的变化之外，在一天的过程中磁场也有小小的变化。这使我们想到它或许与太阳有某种联系。当罗盘指针以一种不寻常的活跃方式跳动时，人们就把当天称为**扰动日**，并认为地球经受了一场磁暴。磁暴与**电子风暴**是相同的，并且通常伴随着逐渐增强的极光现象。早在1759年英国物理学家康顿就提出了观察报告。

北极光一词最初是由法国哲学家伽桑狄于1621年引用的。拉丁字义是“北方的黎明”。这是一种会移动的美丽景象，多彩的流光或折叠的光线组成了一种超自然的壮观。与北极光相辉映的是位于南极大陆的**南极光**，其拉丁字义是“南方的黎明”。1741年，瑞典天文学家摄尔西乌斯就注意到极光与地球磁场的关系。这些极光射线似乎是随着地球磁力线集中在一起而成为可见光的。极光射线紧密集中点就是磁极。在磁暴期间，甚至远至南方的波士顿和纽约都能看到北方的极光。

为什么会有极光出现并不难理解。在大气的电离层被发现以后，人们认为，来自太阳的某些辐射激发了高层大气的原子并使之转变成带电的离子，到了晚上，这些离子便失去电荷并释放能量，后者使之成为可见的极光形式。极光是一种特殊的大气发光现象，因为它本身如所预料的那样是由带电的离子形成的，所以极光随着磁力线而集中在磁极附近，而一般的气辉现象只涉及不带电的原子，因此也就不受磁场的影响。

太阳风

但是，扰动日以及磁暴的情况又怎么样呢？这些问题的疑点仍然再次指向太阳。

磁暴似乎是太阳黑子的活动所产生的。14960万公里(9300

万英里)以外的扰动对地球能有多大影响实在难以估计,然而影响确实是存在的,因为在太阳黑子活动强烈时磁暴也特别常见。

这个问题的答案从1859年起逐步揭示清楚了。当时有一位英国天文学家名叫卡林顿,他观察到一个星状光点从太阳表面发射出来,持续了约5分钟才消失。这是**太阳耀斑**现象的第一个观察记录。卡林顿猜测这一现象是由于某个大流星落到太阳上而引起的,并假定那只是一种极为罕见的现象。

然而,在1889年,海耳发明了**太阳单色光照相仪**,并在特别光谱区拍摄了太阳的照片,也发现了耀斑。这表明耀斑并不是罕见的现象,同时它也与太阳上的黑子带有关。显然,耀斑是太阳上能量很高的喷出物。产生太阳黑子的现象也同样要涉及到很高的能量(因此,耀斑的成因目前也不大清楚)。当耀斑位于日盘中心正好面向地球时,由太阳发射出来的质点就会到达地球高层大气。在日盘中心的耀斑出现几天之后,地球上就一定会出现磁暴。早在1896年,挪威的物理学家伯克兰就提出了上述预测。

事实上,有许多的证据表明,不论这些质点来自何处,它们所造成的粒子流都会深入遥远的太空,并把地球浸没于其中。人们也发现,由闪电造成的无线电波在很高的空中会沿着地球的磁力线传播。这些波称为**哨音波**,因为早在第一次世界大战期间,德国物理学家巴克好森在一次偶然的机会里发现这种会带来奇怪的口哨杂音的电波。实际上如果大气中不存在着带电的质点,无线电波就不会沿磁力线传播。

但是,这些带电质点似乎不仅在耀斑爆发时才由太阳发射出来。1931年,查普曼在研究太阳的日冕时,对日冕可能伸展的范围产生了越来越深刻的印象。在日全食时,我们所能看到的仅是日冕的最内层的部分。他觉得,那些在地球周围测得的带电质点也是日冕的一部分。因此,在某种意义上说,地球正是在太阳这个

发光体的极稀薄的外层大气里绕着它公转的。根据查普曼的描述，日冕从太阳向外扩张伸向空间，它在太阳表面不断地更新，因而不断有带电质点朝各个方向射出。当它们通过地球时就会干扰地球的磁场。

这个推测到了20世纪50年代就成了定论。这要感谢德国天体物理学家比尔曼。半个世纪以来，人们一直认为彗星的尾巴是由于阳光的压力造成的，以致于彗尾大都背离太阳，而且当彗星接近太阳时彗尾拖得更长。光压的确存在，但比尔曼证明它还不足以产生彗尾，必须有更强大的推力才行。符合这样条件的除了带电质点外几乎不可能是别的东西。美国物理学家帕克对这种稳定的质点流提出了更深一层的讨论，他把耀斑产生时的爆发也加上去，并把上述效应命名为**太阳风**。太阳风的存在最终被苏联**卫星1号**及**卫星2号**所证实。这两个卫星分别于1959年及1960年被发射到月球附近。美国的一个行星探测器**水手二号**也在1962年飞过金星附近时探测到了太阳风的存在。

太阳风并不是一种局部的现象。有理由认为，至少像土星那样遥远的行星，在那里也能探测到太阳风。在接近地球的地方，太阳风质点的速度由每秒320公里变化到每秒800公里不等，这些质点从太阳到达地球要用3½天的时间。太阳风使太阳在每一秒钟之内有100万吨的质量损失，按人类的标准来看，这是一项极为巨大的质量损失，但是对太阳来说，这点儿质量损失是微不足道的。太阳风的密度大约为地球大气的10^{-18}。在太阳的整个生命史中，到目前为止，由太阳风所造成的质量损失还不到万分之一。

太阳风对人们的日常生活也有影响。除了对磁场的影响之外，高层大气中的带电质点也会影响到天气变化的细节。如果真是这样，太阳风的涨落变化也会成为天气预报的另一种武器。

磁层

有关太阳风的影响的未知问题,在人们发射了卫星之后意外地得到了解决。人造卫星的主要作用之一就是探测高层大气以及附近空间的辐射,特别是**宇宙射线**的强度。宇宙射线是一种能量极高的带电粒子。大气层之外的辐射到底有多强呢?可用卫星上所载的**盖革计数器**来测量。这种仪器是由德国物理学家盖革在1907年首先设计出来的,1928年又对它进行了很大地改进。它是这样来测量粒子辐射的:计数器有一个装有气体的盒子,盒内的电压很低,以致不能出现电流。当辐射的高能质点穿入盒子后会使气体的原子变为离子。离子受碰撞之后得到能量就会撞击邻近的原子,也使之电离并继续去撞击别的原子,如此下去就形成更多的离子,这种离子的运动就形成电流,这样形成的脉冲电流可在几分之一秒的短时间内传到计数器上,再由遥测仪传回地面。这样,便可计算出计算器所在位置的粒子数及辐射通量。

美国首次成功发射的卫星**探险者1号**于1958年1月31日进入轨道。它的计数器探测到在数百公里上空有一个粒子集中区。但是到了更高的高度时(**探险者1号**可达到2535公里的高空)计数却开始减少了,有时甚至降为0!这个现象曾被认为是计数器出了故障。但是,1958年3月26日发射的**探险者3号**在到达3380公里处的上空时也出现了同样的情况。1958年5月15日苏联发射的**卫星3号**也发生了同样的现象。

美国衣阿华州立大学负责一项辐射研究项目的范艾伦及其助手们对上述现象提出了一个可能的解释。他们认为,计数器测不到辐射,并不是因为辐射太少或没有,而是因为辐射太多,仪器来不及反应,结果没有数学显示。(这与我们眼睛被强光照射时产生看不见的现象类似)。

探险者 4 号在 1958 年 7 月 26 日升空，它携带有一些特殊设计的计数器，能够测量较大的负荷。例如，其中有一个还装了一层薄铅片（类似于暗色的太阳镜），加以屏蔽，以防止大部分辐射进入。结果，这次计数器便有了不同的反应，证实辐射过多的理论是正确的。**探险者 4 号**到达 2 200 公里（1 368 英里）的高度。考虑到铅片对辐射的削减作用，这种装有铅片保护层的计数器所发回的数字表明，那里的辐射强度比科学家们所想象的要高得多。

很显然，探险者号卫星只穿越了这个强辐射场的底层。1958 年秋天，美国朝月球方向发射了两颗人造卫星（也就是所谓的月球探测器）——**先驱者 1 号**，飞抵 112 600 公里（70 000 英里）的高度；**先驱者 3 号**，到达 104 600 公里（65 000 英里）的高度。它们测量的结果表明，环绕地球有两条主要辐射带。它们被称为**范艾伦辐射带**。但不久，为了使之与地球附近空间其他区域所定的名称相协调，又改称为**磁层**（图 5－6）。

最初，假设磁层在地球周围是对称的，就像一个巨大的油炸面圈，而且磁力线本身也呈对称排列。但是由卫星资料所带回的另一些信息，特别是 1963 年将**探险者 14 号**及**顽童 1 号**送到一个高度椭圆的轨道上（轨道所以被设计成高度椭圆形状是为了使卫星能被尽可能远地送到磁层以外的地方）所得到的资料，将整个概念推翻了。

结果发现磁层有一个界限分明的边界，即**磁层顶**。由于太阳风的作用，朝太阳的这一面的磁层顶被推向地球，但在地球背面夜晚的那一侧，磁层顶却被拉长了一段很长的距离。面向太阳的磁层顶大约距地球 64 360 公里（40 000 英里），但另一面泪珠状的尾巴则向外延伸到 160 万公里（100 万英里）或更远。1966 年，苏联卫星**月球 10 号**在绕月飞行的过程中，测出月球周围有一微弱的磁场，实际上它可能就是地球磁层尾部扫过月球附近而形

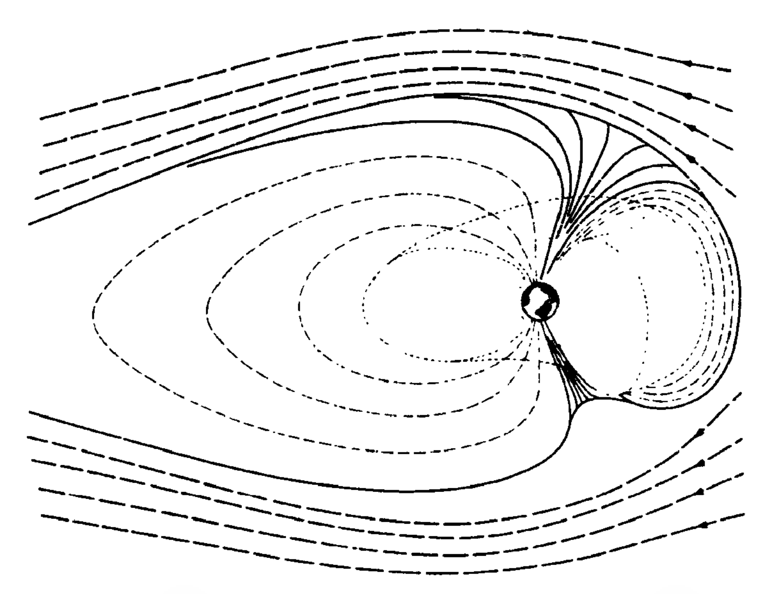


图 5－6 人造卫星所探测到的磁层或范艾伦辐射带。它是由被拦截于地球磁场中的带电粒子所组成的

成的。

带电粒子会被诱陷于磁力线上运动的现象早在 1957 年就曾被在美国出生的希腊业余科学家克里斯托菲洛斯所预报过。他当时在美国一家电梯公司当推销员。他将所作的计算送到从事这方面研究的科学家手中,但未引起他们的注意(科学界也如其他行业一样,专业人员往往忽视业余爱好者)。直到这些专业的科学家也独立地得到同样的结果之后,克里斯托菲洛斯的研究才被肯定,他本人也应邀到加利福尼亚大学。他的关于粒子被磁场诱陷的思想现在被称为**克里斯托菲洛斯效应**。

1958 年 8 月和 9 月,为了试验这个效应是否真正会在空间发生,美国发射了 3 枚携带核弹头的火箭飞达 480 公里(300 英里)

的高空，并在那里引爆——这项实验命名为阿耳戈斯计划。核爆炸后产生的大量带电粒子流沿着磁力线扩展开来，并确实在那里被诱陷。由此而形成的辐射带持续存在了相当长的一段时间；**探险者4号**在其数百次绕地球的飞行中都曾探测到这个辐射带。这种粒子云也同样能产生微弱的极光现象，并引起过短时的雷达波中断。

上述实验是其他一系列实验的序幕，由于这类实验会影响甚至改变地球附近的空间环境，因此有些实验就受到一些科学团体的反对和抗议。1962年7月9日在空间爆炸的一颗核弹，使得磁层发生了显著的改变，还出现了一些可能持续较长时间的变化，正如一些持反对立场的科学家（如霍伊尔）所预测的那样。苏联在1962年也进行过类似的高空实验。这种影响事物自然状况的作法可能会影响我们对磁层的理解，因此这些实验不能在短期内重复进行。

为了给远距离通信系统建立一个可靠的方法，人们曾在环绕地球的轨道上撒了一层细铜针，试验这些铜针反射无线电信号的能力（这是因为电离层在有磁暴发生时会失去或减弱反射电波的能力而影响通信）。深恐此举会干扰来自空间的信号的射电天文学家们对此表示反对。尽管如此，这项被称为**西福特计划**的研究项目还是在马萨诸塞州的西福特城准备就绪，并于1963年5月9日付诸实施。一颗卫星把长1.9厘米（3/4英寸）、比人的头发还细、价值50英镑的4亿根铜针放入轨道。这些铜针射出之后逐渐扩散到环绕地球的辐射带中，正如所预期的那样，它们可以反射无线电波。此带停留在轨道上大约3年之久。为了提高其用途，将需要一条更厚的这样的带，但射电天文学家们的反对是否能克服，是值得怀疑的。

行星的磁层

科学家们自然非常想弄明白,除了地球之外其他天体是否也具有辐射带。如果埃尔萨塞的理论是正确的,那么行星必须满足两个要求,才能拥有一个较大的磁层。首先,必须有一个液态的导电核心,以便在其中产生涡旋运动。其次,必须有一个相当快的旋转周期以产生这种涡旋。以月球为例,它的密度低而且质量太小,内部核心的温度也不够高,因此不可能有液态金属核心。此外,即使它有这种核心,也因为它转得太慢而无法形成涡旋。因此,从两方面看,月球都不可能有磁场。但是不管这一推理多么一目了然,直接的测量将更有帮助。火箭探测器能够轻易地进行这种测量。

最早的月球探测器是由苏联发射的**卫星 1 号**(1959 年 1 月 2 日)和**卫星 2 号**(1959 年 9 月),它们在月球周围没有发现任何辐射带的迹象,这一结论也为后来的各次月球探测所证实。

金星是一个更为有趣的例子。它的大小和密度与地球相似,因此一定像地球一样有一个液态金属核心。但是金星旋转得很慢,甚至比月球还慢,金星探测器**水手 2 号**于 1962 年发射,它和其后的所有金星探测器都一致证实金星实际上是没有磁场存在的。由于它的浓密的大气层中的电离层的传导效应,可能产生一点磁场,但其强度肯定小于地球磁场强度的 1/20 000。

水星的密度也大,并且一定有一金属核心,但和金星类似,它旋转得很慢。**水手 10 号**在 1973—1974 年掠过水星时,探测到一个微弱的磁场,比金星稍强。但它不是由大气层产生的。即使这么微弱的磁场,也不是它那缓慢的旋转所能产生出来的,很可能是因为它的体积很小(比金星和地球都小得多)的缘故,其金属核心已经冷却到足以产生铁磁性,并具有永久磁铁的一些性质。但至今我们仍不能肯定是否如此。

火星的旋转相当快,但它比地球体积小,密度也比地球低。它

可能没有像样的液态金属核心。但即便这样小的核心也可能产生一定的影响。火星似乎有一个小磁场,尽管其强度比地球弱得多,但仍比金星要强。

木星则与上述天体完全不同。如果对其核心传导特性有一定的认识,它那巨大的质量及快速的旋转是使它拥有磁场的最佳条件。早在 1955 年,那时还没有关于核心导电性的足够知识,也还未建造出探测器,但两位美国天文学家伯克及 K. L. 富兰克林却探测到来自木星的无线电波是非热力性的,即它们并非仅由温度的效应所引起的,而很可能是由那些被磁场所诱陷的高能粒子所引起的。1959 年,F. D. 德雷克就是这样解释来自木星的无线电波的。

早期的木星探测器**先驱者 10 号**及**先驱者 11 号**充分地证实了这个理论。它们毫不费力地探测到了木星的磁场(与地球磁场相比它真是个庞然大物),比我们根据其巨大体积所预测的强度还要大。木星的磁层大约有地球磁层的 1 200 倍那么大。如果肉眼能够看得见的话,从地球上看,这个磁场在天空中所占的面积将比满月在天空中所占面积大好几倍。木星磁层的强度大约是地球磁层强度的 19 000 倍;如果载人的宇宙飞行器一旦到达那里,木星的磁场将会在其伽利略卫星之外形成一个致命的障碍,阻止飞船接近它。

土星也有一个强磁场,它的大小介于木星和地球的磁场之间。目前我们还不能用直接的观测来说明。根据推理,天王星和海王星也应有磁场,且可能比地球的大。在所有的气体巨行星中,液态导电核心的性质不是液态金属就是液态金属氢,而木星和土星的导电核心几乎可以肯定是后者。

流 星 和 陨 石

甚至连古希腊人都知道流星并非真正的星。因为不论有多少流星陨落,天上星星的数目仍维持一定。亚里士多德认为流星是物体在大气中所产生的暂时现象(这一次他是对的),因此这些物体被称为流星,意即"空气中的物体",流星若落到地面便叫做陨石。

古人甚至也目击了陨石的坠落,并且发现有些是大铁块。据说尼西亚的喜帕恰斯曾报导有关陨石坠落的消息;麦加的石造圣堂中的神秘黑石就被认为是一颗陨石。由于它来源于空中,所以伊斯兰教徒将它当做"圣物"。在希腊著名的史诗《**伊利亚特**》中曾提到有一块粗糙的铁块在丧礼仪式上被当做奖品授与普特洛克勒斯;由于当时是铜器时代,尚未发明铁矿冶炼术,因此可以断定那应该是一块陨石。由此可知,早在公元前 3000 年陨石就已被使用了。

18 世纪理性时代占统治地位之际,科学却在这方面开了倒车。那些对迷信不屑一顾的人却嘲笑"石头从天而降"的说法。当农民谦虚地带着陨石样品前往法兰西学院时,受到有礼但却不耐烦的待遇。1807 年,康涅狄格州的两位学者均报告目击了陨石坠落(其中之一即是著名的年轻化学家西利曼);当时的美国总统杰斐逊却说,他宁可相信这两位美国教授说谎也不愿相信石头会从天上掉下来。

事实证明杰斐逊确实是落伍了。当陨石坠落在法国的消息披露之后,激起物理学家毕奥的兴趣,他于 1803 年前往调查此事。他的调查工作十分谨慎而成功,费了一番努力终于使科学界相信石头确实会从天上掉下来。

而后在 1833 年 11 月 13 日，美国遭到一阵流星雨的袭击。因为它们似乎是从狮子座上的某点放射出来，故被称为**狮子座流星群**。在几小时里流星使天空变得灿烂耀眼，其明亮程度空前绝后。据了解，并没有任何陨石抵达地面，但这个奇观却激起研究流星的热潮，天文学家们开始了认真的研究。

次年，瑞典化学家贝采利乌斯开始了一项对陨石进行化学分析的计划，这种分析为天文学家研究太阳系年龄及宇宙的化学成分提供了有用的资料。

流星

根据对每年流星最多时期的观察和对流星从天空中落下时的位置的观察，流星观测者已能推算出各种流星云的轨道。用这种方法，他们了解到当地球轨道和流星云轨道相交时，便会产生流星雨。

流星云也像彗星似地有一个拉长的轨道，因此把它们看作是彗星分裂后的碎片也不无道理。根据彗星结构的惠普尔图片，彗星能分裂并把尘埃和碎片留在其后，有些彗星确曾被观测到分裂的情况。

当这类彗星尘埃进入大气层，会造成壮观的景象，如同 1833 年所发生的那样。曾有一颗亮如金星的流星在掉入大气层后成了一块仅有 1 克重的微粒，还有一些可见的流星重量仅有它的 1/10 000。

闯入地球大气层的流星总数可以用计算机计算出来，数目之大令人难以置信，超过 1 克重的流星每天多达 20 000 个，另有 2 亿个大小足以形成肉眼可见的散射光束的流星，比上述更小的流星每天则会有好几十亿个。

我们所以知道有非常小的**微流星**存在，是因为发现空气中有

形状特殊且由高镍成分组成的尘埃粒子,它们和地球上通常的尘埃大不相同。另一个微流星大量存在的证据是天空中的一种微弱光线,即所谓的**黄道光**,它是J.D.卡西尼在大约1700年首先发现的。之所以叫做黄道光是因为它在地球公转轨道面附近,即黄道星群出现的地方最为明显。黄道光十分昏暗,除非条件特别理想,否则甚至在没有月光的夜晚也无法看见。它在太阳已落或将升起时的地平线附近最为明亮,而天空的另一边,还有第二个明亮处,叫做**对日照**(德文意为"相反的光")。黄道光和**气辉**最大的不同是,它的光谱中没有氧原子和钠原子的谱线,只有被反射的阳光。而反射媒质据推测便是集中在行星轨道面附近的尘埃——简言之就是微流星,其数目多寡和尘粒大小可根据黄道光的强度来测定。

微流星的数目现在可以利用**探险者16号**(1962年12月发射)及**飞马1号**(1965年2月16日发射)等人造卫星发回的资料更精确地计算出来。为了探测微流星,有些人造卫星的外面包有一层敏感的材料片,通过电阻的改变来记录流星的撞击次数。另一种记录撞击的方法是在仪器的内表面上安装一个敏感的麦克风,以计算撞击时发出的声响次数。人造卫星上的计数器指出,每天约有3000吨的流星物质进入我们的大气,其中5/6是微流星,这些微流星因体积太小而不能像流星那样被观察到。这些微流星在地球附近形成薄尘云。这类尘云向外层空间伸展,但密度越向外越低,大约在160000公里远的地方,其密度消减到与星际空间的一般密度相一致。

探测金星的**水手2号**测出空间尘埃的浓度仅为地球附近的1/10000;而地球似乎是此尘云球的中心。惠普尔指出,月球可能是尘云之源,因为陨石撞击月球表面而射出尘埃。金星则因为没有卫星,所以没有尘云球。

地球物理学家彼得森对流星特别感兴趣,他曾在1957年到夏

威夷的一个山顶上收集空气的样本。这里是地球上最远离工业尘埃的地方,结果他发现每年有将近500万吨的流星尘降落到地面上。1964年,罗森也曾用气球将仪器载到高空做了类似的测量,得到的数字为400万吨。虽然如此,仍有人认为每年仅有10万吨才是合理的。彼得森试图通过分析从海底取出的岩心样本中高镍尘埃的含量来绘出过去陨石坠落的曲线图。他发现大体上海底上层部分的沉淀多于较老的下层部分,因此(证据可能仍然不足)流星撞击的比率在近代可能是增加的。这些流星尘对我们的生活可能很重要。根据澳大利亚物理学家E.G.鲍恩在1953年提出的理论,这些尘埃可以成为雨滴的凝结核。假使果真如此,那么从地球降雨的形态便可反映出微流星撞击地球时密度的升降变化。

陨石

偶尔有一些比碎石大的物体,甚至也有些很大的物体进入地球大气中。它们一定相当大,因而能够经受以每秒13~72公里的速度穿越大气时与空气摩擦所产生的高热而抵达地面。这就是我前面所说的陨石。这类陨石被认为是小行星,更具体地说,是与地球过于接近的掠地小行星。由于它们能擦撞地球,故成为人类的忧虑。

落到地面上被发现的陨石(共约1 700个,其中35个超过1吨重)大都是铁质的,这样看来,铁陨石的数目应该远远超过石陨石的数目。然而,这种看法被证明是错误的,因为一块铁块半埋在多石的区域是非常醒目的,而一块石头介于其他石块之间则很难被发现。然而当我们研究一块石陨石时,就会发现它与地球上原有的石头有着完全不同的特征。

当天文学家计算那些确实被目睹坠落的陨石时,发现石陨石的数量是铁陨石的9倍(有一段时间,美国大多数石陨石是在堪萨

斯州发现的。这似乎有点奇怪,但若了解在堪萨斯州那种没有石块的沉积地上,一块石头引人注目的程度,就如同其他地区的一块铁一样,便不足为奇了)。

这两种陨石被认为是在下列情况下产生的:在太阳系的青年时期,小行星可能平均要比现在的大。小行星一旦形成并不再因木星摄动而合并时,它们彼此间会发生碰撞而破碎。然而早在此之前,在小行星形成过程中,它已达到足够的热度使其组分有所分离,铁质沉入中心而岩质被挤到外层。然后,当小行星变成碎片时,便既有岩质碎片又有铁质碎片,因而形成地球上现有的各种陨石。

另外还有第三种陨石——碳质陨石。它非常少见,将在后面的第十三章中予以适当的讨论。

陨石很少造成灾害。虽然每年有将近500万个坚实的陨石撞击地球(不过,遗憾的是,仅约有20个被发现),但地球表面十分广大,仅有少部分区域人口稠密。据了解迄今还没有人遭陨石击中而丧生。只是在1955年11月30日美国阿拉巴马州有一名妇女据报导曾被一线闪光打伤。1982年有一块陨石闪耀着光芒,击中美国康涅狄格州韦哲斯菲尔地方的一幢房屋,但未伤及屋内的居住者。奇怪的是,该地区在11年前也受过陨石袭击,同样也未造成伤害。

然而陨石仍具有潜在的毁灭性。例如,1908年在西伯利亚中部的一次陨石袭击事件中,凿出了一个直径约46米(150英尺)的深坑,击倒了附近32公里(20英里)范围内的树木。所幸陨石是落在一片荒芜地区,毁灭的只是一群鹿而未殃及人类。若是它延后5小时才从空中的同一位置落下,那么由于地球的旋转,它就可能击中当时俄国首都圣彼得堡,即现在的列宁格勒。如果真是这样的话,则这座城市早已如同遭受氢弹轰炸一样被彻底毁灭了。

有人估计,这颗陨石的总重量大约可达 40 000 万吨。

这次**通古斯事件**(因其发生地点而得名)一直是一个神秘的疑团。因为该地区实在很难接近,而后紧接着又发生战争和革命,以致好几年都无法前去调查,等到后来真正前往考察时,却没有留下任何陨石物质的痕迹。近些年,有一位苏联科幻小说家在他的小说中,虚构该地区充满了放射性,这一虚构被许多对此事有着自然情感的人当做是个严肃的发现。结果,许多荒诞不经的理论因而发展出来。从遭受小黑洞撞击到外星的核爆炸都有。而最可能的合理解释为陨石本身就是冰,可能是一颗非常小的彗星或大彗星的一部分,最有可能是恩克彗星,它在撞击前先在空中爆炸,造成了巨大的破坏,却没有留下任何岩质或金属的陨石物质。

此后最大的撞击事件于 1947 年发生在海参崴(又是在西伯利亚)。

有迹象表明,在史前时期曾有过更为严重的撞击现象。美国亚利桑那州的可可尼诺郡有一个宽约 1.3 公里、深达 183 米的圆坑,周围的土堆有 30～46 米高,看起来就像一个小型的月坑。长久以来它一直被认为是一座死火山。但一个名叫巴林杰的矿石工程师却坚持认为这是陨石撞击的结果。现在,这个坑便被称为**巴林杰陨石坑**。坑口有数千吨(也可能数百万吨)的陨石铁块堆积,虽然目前只发现一小部分,但从该地及附近的陨石中所提取的铁已比从世界其余地方的陨石中所提取的铁的总合还要多。由于 1960 年在这里发现了硅,从而证实了它的起源是陨石造成的。因为硅仅能在受陨石冲击时所产生的瞬间高压及高温下才能生成。

据估计,巴林杰陨石坑大约是 25 000 年前由一个直径 46 米左右的铁陨石撞击在这荒无人烟的土地上所造成的,目前它保存得相当完好。在世界上大多数地区,类似的陨石坑多已被水或植物的过度生长所掩没。如从飞机上观察,以前也曾看见过许多不

引人注意的圆形构造物,其中有的充满了水,有的长满了植物,它们几乎都是陨石坑。在加拿大就发现了好几处,包括安大略中部的布伦特陨石坑和魁北克北部的查布陨石坑,每一个都有 3 公里或更大的直径。加纳的亚山蒂陨石坑直径则达 9.6 公里,它们都可能有 100 万年以上的历史,已知大约有 70 个这类的古老陨石坑,直径总合达 137 公里左右。

月球上的陨石坑从小洞到直径为 240 公里或更大的都有。月球上因为没有空气、水和生命,因此它就像一个完美的陨石博物馆。除了每两周轮换一次的白天和夜晚所引起的缓慢温度变化之外,几乎不会受到任何作用的磨损。如果没有风、水及生物的侵蚀作用,地球可能也和月球一样布满坑洞。

起先,曾有人认为月球的坑洞源于火山,但事实上它们在结构上和地球的火山口并不一样。1890 年后,这些坑洞是起源于陨石撞击的观点渐渐占了优势,并逐渐为人们所接受。

“大海”,又名“玛利亚”,是月球上巨大粗糙而较少坑洞的环形地区,按照上面的观点可视为特大陨石撞击的结果。1968 年,当人造卫星在月球轨道上绕月球飞行时发生了意外的轨道偏离,使得上述的想法获得了进一步的支持。这种偏离迫使人们得出一个结论,那就是部分月球表面的密度比平均值来得大,因而使万有引力稍有增大。当人造卫星飞过这里时便有了反应。这些比平均密度大的区域似乎都和“玛利亚”地区相吻合,我们称之为**质量密集区**。最明显的推理是,一些颇大的铁陨石造成“海”之后仍然埋藏在下面。它们的密度比一般构成月球表壳的石质材料大。在发现这一现象的那一年,至少探测到 12 个这种质量密集区。

然而,把月球视为一个“死的世界”,完全没有火山活动的观点也有点过分。1958 年 11 月 3 日,苏联天文学家科兹列夫对阿尔芬斯坑的微红斑点进行了观察(W. 赫歇耳早在 1780 年就提出曾

看到月球上有微红的斑点)。他用分光镜进行的研究澄清了一个事实,即确实有气体和尘埃从那里喷射出来。从此,其他的微红斑点也在瞬间为人们所发现,看来,月球上确有偶而发生的火山活动。1964 年 12 月,月全食期间就发现有 300 个坑口比附近地区更热,只是它们尚未热到白炽状态。

没有空气的世界,如水星以及火星、木星和土星的卫星,通常是坑洞密布,它们是 40 多亿年前由星子吸积形成世界的过程中被陨石撞击所留下的纪念。从那以后没有发生过任何能抹掉这些痕迹的过程。

金星上的坑洞很少,或许是因为它的稠密大气层的侵蚀作用。火星有一半表面的坑洞也较少,可能是由于其火山活动再造了一个新的星壳。木卫一上完全没有坑洞,可能是由活火山群的熔岩所致。而木卫二没有坑洞,乃因陨石的撞击穿越其覆盖的冰层,进入液面下,液面立即再结冰"愈合"破洞的缘故。

陨石是我们能够研究的惟一来自外层空间的物质,因此它不仅使天文学家、地质学家、化学家及冶金学家感兴趣,而且也使宇宙学家激动不已,因为他们专门从事研究宇宙和太阳系的起源问题。地球上的好几个地方都发现在陨石中有令人费解的玻璃状物质,1787 年首先在今天的捷克和斯洛伐克西部发现了这种物质。澳大利亚在 1864 年也发现一些例子。它们被称为**玻陨石**,希腊文是"熔化"的意思,因为它们显然在穿越大气层时被熔化了。

1936 年,美国天文学家尼宁格提出这样一个理论,玻陨石是大的陨石撞击月球表面激溅出来的残余物,受到地球重力场吸引而落入地球。在澳大利亚和东南亚发现玻陨石分布很广(其中许多是从印度洋的海底捞出来的)。这些是最"年轻"的玻陨石,只有 70 万年的历史。可以想象,它们是由形成月球上年轻壮观的第谷环形山的巨大陨石撞击激溅而产生的。这一撞击与地球磁场最近

一次反转正相吻合。这一事实引起了一种推测,认为这类非常不规则的地球磁场反转系列,可能标志着上述月球和地球之间陨石撞击的灾祸可能再次发生。

另一种特殊类型的陨石是在南极大陆上发现的。任何陨石,不论是岩质或是金属块,假如掉在广大的南极冰盖上,必然相当引人注目。事实上,在那个大陆上的任何固态物体,只要不是冰或人类活动的产物,就是陨石。陨石一旦坠抵地面,除非被雪所掩埋或被企鹅碰过,否则它就一直保持未被接触的状态(至少已有2000万年以上)。

无论何时,南极洲都人烟稀少,这片大陆上许多地方仍未经仔细考察过。1969年以前,总共才发现了4颗陨石,都是在偶然的情况下发现的。1969年,一队日本地质学家发现了相距很近的9颗陨石,因而引起了科学家们的普遍兴趣。于是,更多的陨石陆续被发现。到1983年,在这块冰封的大陆上找到的陨石碎片超过5000个,比在世界其他地方发现的陨石多得多。事实上,并非被撞击的南极洲的陨石特别多,只是陨石在那里比较容易被发现。

有些南极洲的陨石确实相当奇特。1982年1月发现的一块绿褐色陨石碎片,经分析,证明含有一种特殊成分,和宇航员从月球上带回的月岩一样。要说明一块月球上的物体为什么能被抛到宇宙空间并来到地球上是不容易的,但此事发生的可能性还是存在的。

另外有些南极的陨石加热后会放出气体,这些气体含有一种成分,与火星上的大气非常相似。此外,这些陨石的年龄似乎仅有13亿年,而不像一般陨石有45亿年的历史。约在13亿年前,火星上的火山可能发生过剧烈的活动,某些陨石便是火星熔岩的碎片,以某种方式撞上了地球。

值得一提的是,陨石的年龄(其计算方法将在第七章叙述)一

般来说也是确定地球和太阳系年龄的重要工具。

空气的保持和获得

或许在我们考虑地球如何获得大气之前,应该首先考虑一下为什么地球既要本身不停地自转,又要在空间中不停地运转,而在同时却能在漫长的历史长河中始终把大气牢牢地保持在自身周围。这一问题的答案涉及到逃逸速度的概念。

逃逸速度

假如一个物体被从地面抛向上方,重力的拉引将使它的速度逐渐减慢,直到某瞬间使它停止,然后再掉回地面。如果重力在这一过程中一直不变,则物体到达的高度将与向上的初速度有一定的比例关系。也就是说,以每小时 2 公里初速度升空的物体所能达到的高度将是以每小时 1 公里初速度升空的 4 倍,因为能量与速度的平方成正比。

但重力不是常数,它随高度增加而减弱(确切地说,它随物体到地心距离的平方而减小)。如果以每秒 1.6 公里的速度向上发射物体,它在掉头落下之前可达 129 公里的高度(假设不考虑空气的阻力);如果我们发射同样的物体,但给以每秒 3.2 公里的向上的速度,它将达到原先高度的 4 倍。由于 129 公里处的地球引力比地面低,因此物体越远离地面,它所受的引力就越小。实际上,该物体将升达 563 公里的高度而不是 516 公里。

若给物体一个每秒 10.5 公里(6.5 英里)的向上初速度,它将会升高到 41 520 公里(25 800 英里)处。那里的引力强度不超过地球表面的 1/4。假使我们将物体以每秒 10.6 公里(6.6 英里)的速度发射,它将能达到 55 200 公里(34 300 英里)的高度。

可以算出,当物体以每秒 11.2 公里(6.98 英里)的初速度被发射时,它将永远不会再掉回地球上。虽然地球的引力可渐渐减慢物体的速度,但由于这种作用渐渐地减弱,因此无法使物体对地球呈静止状态(对地球的速度等于 0)。俗话说的"任何事物上升后一定会落下来"在这里就不适用了。

每秒 11.2 公里的速度就是地球的逃逸速度,任何天体的逃逸速度都可根据其质量和大小算出来。月球的逃逸速度为每秒 2.4 公里(1.5 英里),火星为每秒 5.1 公里(3.2 英里),土星为每秒 37 公里(23 英里),太阳系中质量最大的行星木星的逃逸速度为每秒 61 公里(38 英里)。

这些对于地球能保持本身大气层具有直接的意义。由于空气中的分子和原子不断地像小子弹一样在任意方向上飞行,它们彼此之间的速度也有很大差异,所以只能用统计学的方法来描述它们的运动;例如,给出速度大于某一指定速度的分子所占的比例,或者算出在某种给定条件下的平均速度等等。进行类似统计的公式早在 1860 年由麦克斯韦和奥地利物理学家波耳兹曼导出,被称为**麦克斯韦-波耳兹曼定律**。

氧分子在室温条件下的平均速度为每秒 0.5 公里(0.3 英里),氢分子重量只有氧的 1/16,以平均快 4 倍或每秒 2 公里(1.2 英里)的速度运动。根据麦克斯韦-波耳兹曼定律,特定粒子在特定温度下的速度和分子量的平方根成反比。

重要的是要记住这些仅是平均速度。半数分子的速度比平均速度快,部分分子会达到平均速度的 2 倍以上,有小部分粒子超过 3 倍。实际上,仅有小部分的氧分子和氢分子具有每秒 11.2 公里以上的逃逸速度。

在低层大气中,这些快速运动的分子并不能真正的逃出,因为和邻近较慢分子相撞后便减慢下来。但在高层大气,它们逃出的

机会便大得多。首先,畅行无阻的太阳辐射将激发它们,使之具有巨大的能量和速度;其次,在较稀薄的大气中分子碰撞的概率大为降低。地表附近的分子在撞上邻近分子之前,平均只能移动1/100 000厘米;在105公里高处的分子,碰撞前将有10厘米的平均自由路径;而在225公里处,则自由路径可达1 005米。那里原子或分子碰撞的平均次数为每秒1次,和海平面上的每秒50亿次形成极强烈的对比。因此,一个快速粒子在160公里或更高处,将更容易脱离地球。假如它刚好向上移动,则它将穿越密度小且碰撞机会少的区域,最终它将进入星际空间而永远不再返回。

换句话说,地球大气层会逸失,但逸失的主要是最轻的分子。氧和氮太重,只有少部分能达到逃逸速度。所以从地球大气形成到现在并没有多少氧或氮从地球逸失。另一方面,氢和氦很容易达到逃逸速度,因此,今天地球大气中没有氢和氦就不足为奇了。

质量更大的行星,如木星和土星能保住氢和氦,所以它们的广大而深厚的大气层大部分是由这些元素组成的。氢大量存在时会与其他元素反应。所以碳、氮和氧仅以含氢化合物的型态存在,如甲烷(CH_4)、氨(NH_3)和水(H_2O)。虽然氨和甲烷在火星大气层中只以浓度不大的杂质形式存在,可是这些化合物在光谱上呈现出特殊的吸收带,而氢和氦则没有。因此,1931年德国血统的美国天文学家维尔特便据此发现了木星大气中的氨和甲烷。至于氢和氦的存在则是于1952年以间接方法得知的。当然,1973年以来对木星的探测也证实了上述发现并给了我们更多的具体细节。

另一方面,较小的行星,如火星,甚至连较重的分子也无法保住。其大气密度仅及地球的1/100。月球上的逃逸速度很小,无法保留住任何大气。

温度和重力一样也是重要因素。麦克斯韦-波耳兹漫方程告诉我们,微粒的平均速度和绝对温度的平方根成反比。假如地球

和太阳表面一样有那么高的温度,则所有大气里的原子和分子将被加速4~5倍。地球将不再能保持氧和氮,就如同无法保持氢和氦一样。

因此,水星虽有月球表面重力的2.2倍,应该能保住其大气。然而因水星比月球热得多,所以仍和月球一样没有任何空气。

火星表面重力比水星稍大,但比水星甚至比地球或月球都要冷得多,所以火星能拥有一层稀薄的大气。其低温因素所起的作用要大于其稍大的表面重力所起的作用。相反,木星的卫星比火星还冷,但因表面重力和月球不相上下,因此也不能拥有大气。土星的一颗大卫星土卫六非常寒冷,所以能有一层厚的氮气层。或许海王星的大卫星海卫一也是如此。

原始的大气

地球上仍拥有大气,这可说是对"太阳系行星起源于异常灾祸"的理论的一项有力反驳(例如,有人认为其他太阳系中的太阳曾和我们的太阳发生过碰撞)。相反,它支持了尘云和星子理论:当云中的尘埃和气体先聚结成星子,再浓缩成行星体时,气体可能被拘陷于多孔的物质中,就像雪堆中的空气一样。以后,该星体继续重力收缩,将气体挤到表面。某一具体气体是否能留存于地壳上,部分地决定于其化学活动性。氦和氖虽然是原始尘云中最普通的气体,但因其化学惰性而无法与其他元素形成化合物,所以会迅速逃离地球。一般地说,地球中氦和氖的浓度仅是它们在宇宙中微不足道的一部分。例如,据计算,地球只保住了原始气体云中存在的氖原子的五百亿分之一;而我们的大气中即使有氦原子的话,其量也比这更少。所谓"即使有氦原子的话",是因为今天在大气中虽然仍有些氦,但它们几乎全是来自衰变的放射性元素和泄漏出来的地下洞穴中残存的氦气。

另一方面,氢虽比氦和氖都要轻,却被很好地保留在地球上了。因为它极易和其他物质结合,最明显的是与氧结合成水。据估计,地球仍具有超过五百万分之一的原始云团中的氢原子。

氮和氧可以更简明地说明化学特性所起的作用。虽然氮分子和氧分子质量大致相等,然而地球保留了 1/6 化学性质活泼的原始氧原子,却仅保留了 1/800 000 的惰性氮原子。

谈及大气中的气体,就必须要涉及水蒸气。这里我们将涉及一个有趣的问题,那就是海洋是如何形成的? 在地球历史的早期,尽管我们的行星不是特别热,所有的水仍然是以水蒸气的形式存在。有些地质学家相信,水在那时凝聚于大气中,就像浓密的蒸气云。当地球冷却后,急速的降雨便形成了海洋。另一方面,有些地质学家却主张,我们的海洋是由地球内部的水渗出而形成的。火山活动显示出地壳中仍有许多水分,因为它释放的气体大多是水蒸气。如果是这样的话,海洋仍可能在继续扩大,尽管速度很慢。地球大气自最初形成之后难道一直是今天这个样子吗? 这似乎不太可能。氧分子占了大气 1/5 的体积,而氧是如此活泼的元素,除非继续生成,否则以游离态存在是不可能的。而且,也没有其他星球拥有和我们一样的大气。因此,我们可以大胆地断言: 地球的大气乃是独特事件的产物,就如同地球上具有其他星球所没有的生命一样。

尤里提出过一个详尽的论点,支持原始大气是氨和甲烷所组成的想法。氢、氦、碳、氮和氧是宇宙中的主要元素。其中最多的显然是氢。由于占绝对优势的氢的存在,碳、氮、氧就很容易与之结合而成为甲烷、氨和水。当然除氦和过剩的氢会逸出大气层外。水则形成了海洋;因为甲烷和氨比较重,所以被地球引力限制于大气层内,成为当时大气的主要成分。

即使所有的行星最初都有足够的引力拥有上述的大气,它们

也不能全都永久地保持住它。来自太阳的紫外线会引起大气组成的变化。但这种影响对外行星来说是比较小的。第一,因为外行星接受太阳的辐射较少;第二,外行星有很厚的大气层,虽然吸收了大量的辐射,却没有明显的改变。所以外行星大气层中的氢、氦、氨和甲烷保存至今。

然而火星、地球、月球、金星和水星5颗内行星却不是这样。月球和水星都太小、太热,或既小又热,以致无法留住任何明显的大气;而火星、地球和金星在开始时,其稀薄大气最主要的成分是氨、甲烷和水。那么后来却发生了什么样的变化呢?

紫外线辐射撞击地球高层原始大气的水分子,把它们分解成氢和氧(**光离解**),氢会逸出大气,于是留下氧。由于氧活性很高,几乎可和附近的任何分子发生反应。例如与甲烷反应生成二氧化碳(CO_2)和水,与氨反应生成氮(N_2)和水。慢慢地,然而却稳定不断地,大气从甲烷和氨转变为氮和二氧化碳。而氮能和地壳中矿物慢慢反应形成硝酸盐,剩下二氧化碳成为当时大气的主要成分。

水是否能持续进行光离解作用呢?氢是否会一直不停地逸入宇宙空间呢?氧是否能在大气中不断聚集呢?假如氧在大气中不断增多,又找不到物质反应(氧无法和二氧化碳再反应),那么会不会使这部分氧强加到现有的二氧化碳大气中呢(并以此来解释现在地球大气中的氧)?答案毫不含糊是否定的。

一旦二氧化碳成为大气的主要成分,紫外线辐射就无法通过水分子的光离解而使大气发生进一步的变化。当氧渐渐以自由状态在大气中聚集之后,在较高大气层中就会形成一层很薄的臭氧层,它能吸收紫外线,阻止紫外线到达低层大气,也阻止进一步的光离解作用。这样,以二氧化碳为主的大气是稳定的。

但二氧化碳会引起温室效应(见第四章)。假如二氧化碳大气层非常稀薄且远离太阳,水分又很少,这种效应的影响就很小,例

如火星便是如此。

假如行星的大气层更像地球的大气层，距离太阳也像地球那么近或更近一些，温室效应就会十分强烈，行星的温度将会升高，海水大量被蒸发。水蒸气会加强温室效应，加速这种变化，迫使更多的二氧化碳进入大气。同时也使星壳温度升高。最后，行星将变得非常炎热。大气中的水分全部成为蒸气，行星表面永远为这种云气所覆盖，并有一个深厚的二氧化碳大气层。

金星正是这样的情形。它经历了一次失控的温室效应。因为金星比地球更接近太阳，它能从太阳吸收更多的热量，这正好成为开始进行温室效应的导火线。

地球经历了一条与金星或火星不同的发展过程。它不像火星那样，大气中的氮完全被星壳吸收，只留下一层稀薄而寒冷的二氧化碳；另外，其温室效应也没有将它变成金星上那种高热闷人的荒凉世界。然而却发生了另一种事，那就是生命在这个星球上开始发展，也许在大气还是由氨及甲烷组成的时候，生命过程就已经开始了。

地球海洋中诱发生命的反应，将氮化合物分解，释放出分子氮，使大气中出现大量的氮。此外，生命细胞借助**可见光**的能量（可见光不受臭氧层阻拦），发展出将水分子分解成氢和氧的能力。氢与二氧化碳结合，形成构成细胞的复杂分子，氧则被释放到大气中。就这样，由于生命的作用，地球大气才由氮、碳和二氧化碳转换成氮和氧。温室效应减到很小，地球仍然凉爽，因而能留下其独特的液态海洋和充满大量游离氧的大气层。

事实上，我们的含氧大气层只具有地球存在历史中最后 1/10 的一段时间的特性。甚至近在 6 亿年前，我们大气中的氧也只有现在的 1/10。

我们现在确实有了这样一个大气层，我们也许应该感谢生命，

因为就是它使大气充满了游离态的氧,而氧反过来又是生命存在所必需的。

(林之光　董　敏　译)

第六章　元　　素

周　期　表

至此我所论述的都是一些相当大的物体——恒星、星系、太阳系、地球和它的大气层，现在让我们看看组成它们的物质的特性。

早期的理论

早期希腊哲学家对于大部分问题都采取论证与推理的方法，他们曾断言地球是由少数**元素**或基本物质组成的。大约公元前430年，阿克雷加斯的恩培多克勒把这些基本物质假定为土、空气、水和火4种。一个世纪后，亚里士多德又提出天空含有第五种元素——**以太**。中世纪研究物质问题的继承者是中世纪的炼金术士，他们虽然陷入了幻术和骗术的泥坑，但他们所做的结论比那些古希腊人更精明和合理，因为他们至少处理过他们所推测的物质。

为了解释这些物质的不同性质，这些炼金术士们列表增添控制元素，并附上这些元素的各种特性。他们把水银看作是使物质具有金属特性的元素，而把硫看作是使物质具有可燃性的元素。16世纪的瑞士物理学家霍恩海姆是炼金术士中最好的一位，他加了一种元素——盐，并认为它是使物质具有抗热性的元素。

炼金术士们认为，只要按合适的比例加入或取出某些元素，就可以使该物质变成另一种物质。例如，像铅这种金属，只要加入适

量的水银就可以转变成金。这种寻求把**贱金属**转变成金的精密技术持续了好几个世纪。在这期间,炼金术士们又发现了大量比金更为重要的物质——譬如无机酸和磷。

无机酸——硝酸、盐酸、特别是硫酸(大约在公元1300年首次被制造出来),此项发现引起了炼金术实验中的重大革命。这些酸比以前知道的最强的酸(醋里面的醋酸)所具有的酸性要强得多,而且不需要高温及长时间的等待就可以把物质分解。即使在今天这些无机酸在工业上的用途仍非常重要,尤其是硫酸。据说,一个国家的工业化程度,可以从它每年消耗的硫酸量来判断。

然而,几乎没有一个炼金术士愿意离开他追求的主要方向而转到这些重要方面,其中一些无耻之徒,耽溺于骗人的勾当,伪称他们会变出黄金以便从一些有钱的赞助人那里赢得我们今天所谓的经费,因此使得这门行业声名狼藉而导致**炼金术士**这个名称遭人唾弃。到了17世纪左右,炼金术士变成了**化学家**,同时**炼金术**也一步步发展成称之为**化学**的科学。

波义耳是这门科学诞生时出现的化学家中的一位,他建立了波义耳气体定律(见第五章)。在他的《**怀疑的化学家**》一书中(1661年出版),波义耳第一次建立了元素的明确的新准则:元素是一种基质,它能与其他的元素结合成**化合物**,相反地,任何一种元素从一种化合物中分离出来后,就不能再分解成任何更简单的物质了。

然而,对什么是真正的元素,波义耳仍保留了中世纪的观点。例如,他认为金不是元素,可用某种方法从其他的金属制得。事实上,与他同时代的牛顿也这样认为。牛顿在炼金术上面花了很多的时间(的确迟至1867年,奥匈帝王约瑟夫还发给他造金实验补助金)。

在波义耳之后的一个世纪里,实际的化学工作者开始弄明白

了哪些东西可以分成更简单的物质,哪些不可以。卡文迪什曾经指出,氢可以和氧结合产生水,所以水不是一种元素。后来拉瓦锡把被认为是元素的空气分解成氧和氮。如此一来事情就更加清楚了。以波义耳的元素准则来判断,古希腊所提出的元素则都不是元素了。

至于炼金术士们认为是元素的水银和硫,后来根据"波义耳准则"也证实确实为元素。其他如铁、锡、铅、铜、银、金和一些非金属如磷、碳、砷也如此。而巴拉赛尔苏斯认为是"元素"的盐,则被分解成两种更简单的物质。

当然,元素的定义取决于当时的化学水平。只要某种物质用当时的化学技术不能分解,它便可以被视为一种元素。例如,拉瓦锡的 33 种元素表中包含了石灰石和氧化镁等物质,但是在他死于法国革命的断头台上之后 14 年,英国化学家戴维使用电流来分解这两种物质,他把石灰石分解成氧和称为**钙**的另一种新元素。同样地,他把氧化镁分解成氧和另一种新元素——**镁**。

另一方面,戴维已能够证实,瑞典化学家舍勒从盐酸制出来的气体不像人们所想象的那样是盐酸和氧的化合物,而是一种真正的元素,并命名为**氯**(源自希腊字"绿色")。

原子论

19 世纪初,人们提出一套考察元素的全新方法,此法可说是源于古希腊人的某些方法,古希腊人毕竟提出了已被证实在了解物质方面是最为重要的独特观点。

希腊人曾展开过关于物质是连续或是不连续的辩论:物质可以分割并无止境地分成愈来愈细的微粒,还是最后发现它是由不可再分的质点组成的?大约公元前 450 年,留基伯和他的学生德谟克利特二人坚持物质是不可分的。事实上,德谟克利特还把这

些质点叫做**原子**(意为“不可分割”)。他甚至认为,不同物质是由不同的原子或不同的原子组合所组成的,并且认为,原子重新排列可以使一种物质转变成另一种物质。考虑到这一切只是聪明的猜测,人们不免会对他的正确判断力感到震惊。虽然在今天这种观念是很明显的,但是在当时这些观点是非常模糊的,柏拉图和亚里士多德断然拒绝接受这些观点。

然而,上述观点在伊壁鸠鲁的讲义(写于公元前300年)及其学派(伊壁鸠鲁学派)之中存留了下来。罗马的哲学家卢克莱修是伊壁鸠鲁学说的重要信奉者,大约于公元前60年,他在自己的一首长诗《**物性论**》中具体地把原子观念写了出来。卢克莱修的诗的一个旧版本经过中世纪保存了下来,这首长诗是印刷术问世后就印出来的最早著作之一。

原子的概念从来没有完全被西方学者遗忘过,在现代科学诞生初期的原子论中,最著名的是意大利的哲学家布鲁诺和法国哲学家伽桑狄。布鲁诺有许多非正统的科学观点,例如,他认为在浩瀚无边的宇宙里有无数颗恒星(即遥远的太阳),而行星却围绕着各自的恒星运转。他大胆地表示了自己的观点,结果在公元1600年,以异端的罪名而被烧死。他是科学革命中的杰出殉难者。俄罗斯人为了纪念他,还以他的名字来命名月球背面的环形山。

伽桑狄的气体可以压缩和膨胀的实验,显示出气体必定是由分布很广的质点所组成。这个观点影响了波义耳,并使波义耳和牛顿成为17世纪公认的原子论者。

1799年,法国化学家普鲁斯特证明,无论怎样制备碳酸铜,其所含铜、碳和氧的重量比例都是一定的,而且该比例是很小的整数比,为5:4:1。对于其他一些化合物,他也继续证明出有相似的情况。

假定化合物是由各元素能结合的完整物体小数目结合形成

的,可以恰当地解释这种情况。英国化学家道尔顿在 1803 年指出了这种情况,并且在 1808 年出版了一本书,该书的新化学资料都是过去 100 年来所收集的,如果假设所有的物体都是由不可分割的原子所组成,那么有一半的资料都可证实其意义(道尔顿保留了古希腊字"原子"以表示对古代思想家的赞赏之意)。**原子论**提出不久,大部分的化学家都接受了这项理论。

根据道尔顿的学说,每个元素都拥有一种特别的原子,不论该元素的量有多少,都是由这种相同的原子所构成的。而且一种元素之所以不同于另外一种元素,是由于它们的原子性质不同。原子间的基本物理差异是它们的重量不同,这样,硫原子比氧原子重,而氧原子比氮原子重;依次氮原子又比碳原子重;碳原子又比氢原子重。

意大利化学家阿伏伽德罗曾将原子论应用在气体上,以证明等体积的气体(不论它的性质是什么)是由等数目的质点所组成,这就是**阿伏伽德罗假说**。最初认为这些质点是原子,但是最后弄清,在大部分情况下是由称为**分子**的小原子团所构成的。若一个分子含有不同种类的原子(像水分子,它含有 1 个氧原子和 2 个氢原子),它就是一种**化合物**的分子。

自然,测量不同原子的相对重量——也就是找出各元素的**原子重量**就变得很重要了。靠 19 世纪以前的称重技术要想称得微小原子的重量是不可能的,但是先称量从化合物中分离出来的每个元素的重量,再根据各种元素的化学性质来推测,就可能得到原子的相对重量。第一位系统地进行这项工作的就是瑞典的化学家贝采利乌斯。1828 年,他根据两种标准发表了一个原子量的表,这两个标准是先任意地假定氧的原子量为 100 和氢的原子量为 1。

贝采利乌斯的系统在当时并没有立即引起人们的注意;但是到了 1860 年,在德国卡尔斯鲁厄召开的第一次国际化学会议上,

意大利的化学家坎尼札罗提出确定原子量的新方法,应用了到那时为止一直遭到忽视的阿伏伽德罗假说。坎尼札罗在会议上激动地描述了他的观点,当时曾使整个化学界都为之折服。

在那个时候,被采用作为重量标准的是氧而不是氢,因为氧较易与其他不同的元素结合(在确定原子量的方法中,与其他元素结合可算是一个关键的步骤)。1850 年,比利时化学家史塔斯把氧的原子量定为 16,以使已知的最轻元素——氢的原子量大约为 1,精确地说是 1.008 0。

自坎尼札罗以来,化学家们努力寻找更准确的原子量。就纯化学的方法来说,美国化学家理查兹在这方面的研究达到了顶点。1904 年及以后,他以从未达到过的精确度测定了原子量,因而得到了 1914 年的诺贝尔化学奖。基于稍后关于原子的物理结构的发现,理查兹的数值被修正得更精确。

在整个 19 世纪,虽然大部分的工作都集中在原子和分子方面,而且科学家们都相信其真实性,但是却没有直接的证据可以证明它们是确实存在的而不是抽象的东西。一些著名的科学家,像德国化学家奥斯特瓦尔德,就拒绝接受它们是实在之物,他认为它们有用却不是"真实的"。

后来的**布朗运动**则澄清了分子的真实性。这是 1827 年首先由苏格兰植物学家布朗发现的。他注意到悬浮在水面上的花粉粒会不规则地轻轻移动,以为这是由于藏在花粉粒中的小生命的缘故,但是大小完全相同的染料质点也显示同样的运动。

1863 年,他首先指出移动是由于周围,水分子以不同的力撞击质点。对于大的物体,从右边和左边撞击物体的水分子数目虽然有些不同,但对于物体本身却没有影响。而对于微小的物体,也许每秒只受到几百个水分子的撞击,某一边的分子稍微多几个——这边或那边——就可导致令人感觉得到的轻微移动。小质

点的杂乱运动几乎成了水和一般物质的**颗粒性**的可见证据。

爱因斯坦对布朗运动作了理论分析，并且指出如何根据染料颗粒轻微移动的程度来计算分子的大小。1908 年，法国物理学家皮兰研究了质点在重力的影响下，下沉时通过水面的行为，结果发现其下沉运动会被来自底下的分子碰撞所抵消，所以布朗运动可说是与地心引力的方向相反。皮兰利用这项发现，并且根据爱因斯坦所导出的方程式，算出了分子的大小，这连奥斯瓦尔德也不得不接受这一观点。皮兰就因为这项研究获得 1926 年的诺贝尔物理学奖。

这样原子就从半神秘的抽象转变成为几乎实体的东西。的确，今天我们已可以说“看到”原子了。这是借助于宾夕法尼亚州立大学的 E.W. 米勒在 1955 年发明的**场离子显微镜**实现的，这种仪器可以从极细的针尖打出带正电荷的离子并把它们射到荧光屏上，让它们产生 500 万倍的针尖放大影像。这个影像可以使构成针尖的个别原子成为明亮的小点，后来又经过改进可得到每个单一原子的影像。美国的物理学家克鲁在 1970 年报导，已借助扫描电子显微镜观察到铀和钍的单个原子。

门捷列夫周期表

到了 19 世纪，当元素数目增多时，化学家们开始觉得他们好像陷入了一片浓密的丛林中。每个元素都有不同的性质，但是他们却找不到依据把它们排列成表。由于科学的本质就是要在明显的混乱中试着找出次序，所以科学家们仍然努力不懈地寻求元素性质的某种规律。

1862 年，紧接坎尼札罗确定原子量为化学上的一个重要研究手段之后，法国地质学家比古耶·德·尚库图发现可以按原子量渐增的次序把元素排列成表，这样一来，性质相同的元素就排在同一

行里了。过了两年以后,英国化学家纽兰兹也得到相同的排法。但是这两位科学家却遭到嘲笑和轻视,在那时他们都无法让自己的主张确切地发表出来。经过了许多年,在大家普遍承认周期表的重要性之后,他们的论文才得以发表。纽兰兹甚至还因此得到了奖章。

俄国化学家门捷列夫终于从杂乱无章的元素中理出了头绪。1869年,他和德国化学家迈耶尔共同提出了元素表,虽然基本上与比古耶·德·尚库图和纽兰兹已经做过的一样,但是门捷列夫具有比他们更大的勇气和信心来宣扬他的观点,因此得到了世人的承认。

首先,门捷列夫的**周期表**(之所以称为周期表是因为表中相似化学性质的元素周期性的重复出现)比纽兰兹的元素表复杂,而且也较接近目前认为正确的周期表(见表6-1)。其次,按照元素性质的排法与根据原子量排成的次序有出入,然而门捷列夫认为性质重于原子量,于是大胆地改变原来的次序。最后证实他是对的。例如,原子量为127.61的碲,若以原子量为准,则应排在原子量是126.91的碘之后。但在该分栏的周期表中,把碲放在碘的前面可以把它置于性质和它极为相似的硒的下方;同时,这样一来,也就把碘置于和它性质相似的溴的下面了。

最后,也是最重要的,门捷列夫毫不犹豫地在周期表上留下一些空格,并且信心十足地宣称一定还可以发现属于这些空格的元素。他还用表中待填补的元素的上下元素的性质作为参考,指出三个待补元素的大致性状。门捷列夫非常幸运,在他有生之年,他所预测的三个元素都被发现了,因此他能亲眼目睹自己所设立的系统的成功。1875年,法国化学家勒科克·德·布瓦博德朗发现了遗漏的三个元素中的第一个,并命名为镓(是以"法国"的拉丁文来命名的)。1879年,瑞典化学家尼尔森发现了第二个,并命名为钪(是以"斯堪的纳维亚"来命名的)。而在1886年,德国化学家温克

勒发现了第三个，并命名为锗（当然是以“德国”这个名字来命名的）。这三个元素的性质几乎和门捷列夫所预测的一样。

原子序数

随着伦琴发现了 X 射线之后，周期表的历史展开了新的纪元。1911 年，英国物理学家巴克拉发现，当 X 射线受到一块金属散射时，散射光有一定的穿透力，其大小随金属而有所不同。换句话说，每种元素可产生**特征 X 射线**。由于这项发现，巴克拉获得了 1917 年的诺贝尔物理学奖。

然而，X 射线究竟是微小的质点束，还是像光一样的波状辐射，仍然是一个悬而未决的问题。有一种鉴定方法就是看 X 射线是否能借助含有一系列细线的**衍射光栅**而**衍射**（即改变射线方向）。要想得到适当的衍射，这些细线的间距必须大致与辐射线的波长大小相等。目前最密的人工衍射光栅，一般光线刚好适用，但是由 X 射线的穿透力得知，若 X 射线像波一样，则其波长一定远小于一般光线。因此一般的衍射光栅不能使 X 射线产生衍射。

当时德国物理学家劳厄想到，**晶体**是远比人工光栅更细小的天然光栅。晶体是一种几何形状整齐的固体，而在固体平面之间有一定的特定角度，并且有特定的对称性。这种规律是构成晶体结构的原子有次序地排列的结果。有理由认为，一层原子和另一层原子之间的距离大约是 X 射线波长的大小。如果这样，晶体会使 X 射线衍射。

劳厄做实验发现，X 射线通过晶体时确实会产生衍射，而且在照相底片上形成一种图案，显示它们具有波的性质。同一年间，英国物理学家 W.L. 布喇格和他的父亲 W.H. 布喇格研究出计算衍射图案上各种 X 射线波长的方法。反过来，X 射线衍射图案最后用来决定使X射线衍射的原子层的确切方向。这样

1 氢 (H) 1.008								
3 锂 (Li) 6.939	4 铍 (Be) 9.012							
11 钠 (Na) 22.990	12 镁 (Mg) 24.312							
19 钾 (K) 39.102	20 钙 (Ca) 40.08	21 钪 (Sc) 44.956	22 钛 (Ti) 47.90	23 钒 (V) 50.942	24 铬 (Cr) 51.996	25 锰 (Mn) 54.938	26 铁 (Fe) 55.847	27 钴 (Co) 58.9332
37 铷 (Rb) 85.47	38 锶 (Sr) 87.62	39 钇 (Y) 88.905	40 锆 (Zr) 91.22	41 铌 (Nb) 92.906	42 钼 (Mo) 95.94	43 锝 (Tc) 98.91	44 钌 (Ru) 101.07	45 铑 (Rh) 102.9055
55 铯 (Cs) 132.905	56 钡 (Ba) 137.34	57 镧 (La) 138.91	58 铈 (Ce) 140.12	59 镨 (Pr) 140.907	60 钕 (Nd) 144.24	61 钷 (Pm) 145	62 钐 (Sm) 150.35	63 铕 (Eu) 151.96
			72 铪 (Hf) 178.49	73 钽 (Ta) 180.948	74 钨 (W) 183.85	75 铼 (Re) 186.2	76 锇 (Os) 190.2	77 铱 (Ir) 192.22
87 钫 (Fr) 223	88 镭 (Ra) 226.05	89 锕 (Ac) 227	90 钍 (Th) 232.038	91 镤 (Pa) 231	92 铀 (U) 238.03	93 镎 (Np) 237	94 钚 (Pu) 242	95 镅 (Am) 243
			104 钻 (Rf) 259	105 铎 (Ha) 260				

表6-1　元素周期表。表内阴影区代表两种稀土系列：镧系和锕系，分别以第一个元素的名称命名。右下角的数字代表元素的原子量。有"。"号的元素表示具有放射性。每个元素的原子序数记在方格的上方

								氦 (He) 4.003
			5 硼 (B) 10.811	6 碳 (C) 12.011	7 氮 (N) 14.007	8 氧 (O) 15.999	9 氟 (F) 18.998	10 氖 (Ne) 20.183
			13 铝 (Al) 26.982	14 硅 (Si) 28.086	15 磷 (P) 30.974	16 硫 (S) 32.064	17 氯 (Cl) 35.453	18 氩 (A) 39.948
28 镍 (Ni) 58.70	29 铜 (Cu) 63.54	30 锌 (Zn) 65.37	31 镓 (Ga) 69.72	32 锗 (Ge) 72.59	33 砷 (As) 74.922	34 硒 (Se) 78.96	35 溴 (Br) 79.909	36 氪 (Kr) 83.80
46 钯 (Pd) 106.4	47 银 (Ag) 107.870	48 镉 (Cd) 112.40	49 铟 (In) 114.82	50 锡 (Sn) 118.69	51 锑 (Sb) 121.75	52 碲 (Te) 127.60	53 碘 (I) 126.904	54 氙 (Xe) 131.30
64 钆 (Gd) 157.25	65 铽 (Tb) 158.924	66 镝 (Dy) 162.50	67 钬 (Ho) 164.930	68 铒 (Er) 167.26	69 铥 (Tm) 168.934	70 镱 (Yb) 173.04	71 镥 (Lu) 174.97	
78 铂 195.09	79 金 (Au) 196.967	80 汞 (Hg) 200.59	81 铊 (Tl) 204.37	82 铅 (Pb) 207.19	83 铋 (Bi) 208.98	84 钋 (Po) 210	85 砹 (At) 210	86 氡 (Rn) 222
96 锔 (Cm) 247	97 锫 (Bk) 245	98 锎 (Cf) 246	99 锿 (Es) 253	100 镄 (Fm) 255	101 钔 (Md) 256	102 锘 (No) 255	103 铹 (Lw) 257	

一来,X射线便打开了了解晶体原子结构新知识的大门。由于在X射线方面的研究,劳厄终于获得1914年的诺贝尔物理学奖,而布喇格父子则在1915年同享该奖。

1914年,年轻的英国物理学家莫塞莱测定出由不同金属产生的特征X射线的波长,并且发现周期表中各元素的波长随周期表中的排列顺序有规则地递减。

这使每个元素在周期表上有了固定的位置。假定在周期表上位置邻近的两个元素,其所得X射线波长相差了某一期待值的2倍,那么它们之间一定有一个属于未知元素的空位。

如果差3倍的话,一定缺两个元素。换句话说,如果两个元素的特征X射线波长相差正好为期待值,则我们可确定它们之间没有缺少元素。

这样就可能给出元素的确定数目了。在这以前,常有某个新发现的元素打破这种序列,但是到了现在,就不会再有未预计到的空位了。

化学家把元素从1(氢)排到92(铀)。发现这些**原子序数**与原子的内部构造有相当重要的关系(见第七章),而且重要性超过原子量。例如,由X射线资料证明,门捷列夫不管碲的原子量比较高而硬把碲(原子序数定为52)排在碘(原子序数53)的前面。这种做法是正确的。

莫塞莱的新系统几乎立即就显出其价值。法国化学家欧本在发现**镥**(以“巴黎”的古拉丁名字命名)不久之后,他又宣称发现另一个元素,称之为“Celtium”。根据莫塞莱的体系,镥是71号,Celtium应该是72号。但是当莫塞莱分析Celtium的特征X射线时,发现它本来就是镥。直到1923年,丹麦物理学家科斯特和化学家赫维西才在哥本哈根实验室里发现了原子序数为72的元素,命名为**铪**(源于“哥本哈根”的拉丁名字)。

莫塞莱测定法的准确度获得证实之时,他已不在人世了;他1915年死于战火之中,享年28岁——莫塞莱无疑是第一次世界大战中丧生的最有价值的人之一。或许因为他的早亡,莫塞莱失去了获得诺贝尔奖的机会。瑞典物理学家西格班扩大了莫塞莱的研究,结果发现新的X射线系列,并且很精确地定出各种元素的X射线光谱,因此获得了1924年的诺贝尔物理学奖。

1925年,德国的3位学者诺达克、塔克和柏格在周期表上填补了另一空位。他们是经过3年对他们要寻找的这种元素的矿砂深入地研究后才找出75号新元素的,为了表示对莱茵河的崇敬之意,因此命名为**铼**。这就使周期表只剩下4个空格:元素43号、61号、85号和87号。

追踪这4个元素花了20年的时间。那时候化学家们尚不知他们找到了最后一个稳定的元素。至于缺少的都是不稳定的元素,在今天的地球上是很少存在的,因而除其中一个元素外都必须在实验室中来辨认,因此大有文章。

放射性元素

识别元素

在1895年发现X射线之后,许多科学家都兴致勃勃地去研究这些具有巨大穿透能力的辐射。其中有一位就是法国物理学家A.H.贝克勒耳。他的父亲A.E.贝克勒耳(他是第一位拍摄太阳光谱的物理学家)对**荧光**非常有兴趣,而荧光是当物质受到阳光中的紫外线照射后放射出来的一种可见辐射。

A.E.贝克勒耳特别研究了叫做**硫酸铀酰钾**的荧光物质,这是一种每个分子都含有一个铀原子的化合物。但是,A.H.贝克勒耳却很想知道硫酸铀酰钾的荧光辐射线里是否含有X射线。

于是,他把这种化合物放在包上黑纸的照相底片上,然后把它放在阳光下,太阳的紫外线会激发出荧光。因为阳光不能透过黑纸,所以阳光本身不会影响底片;但是如果由阳光所激发的荧光里含有X射线,它们就会穿透黑纸而使底片变暗。他在1896年做了这项实验,结果发现果真如此,很明显在荧光里有X射线。他甚至让这种猜想的X射线透过铝和铜的薄片,从而更加确定它的存在,因为当时除了已知的X射线外,还不知道有别的射线能够做到这一点。

但是后来A.H.贝克勒耳走了运,正当实验进行之中,天气却转阴了好几天。在等待天气转晴的那段期间,他把上面有少量硫化物的底片收好,放入抽屉里。过了几天后,他等得不耐烦了,决定把底片冲洗出来,因为他想即使没有阳光直射也应该会有一点X射线产生。当他看到冲洗出来的照片时,他大感惊讶并且感受到所有科学家们梦寐以求的喜悦。原来照相底片受到强烈的辐射而变得深暗!这绝不是荧光或阳光所能办到的,必定有某种别的东西在起作用,因此,A.H.贝克勒耳断定(并通过几次实验很快就证明)这东西就是硫酸铀酰钾中所含的铀。

这项发现使得因发现X射线而深感兴奋的科学家们更加振奋。有一位科学家立即着手研究从铀发射出来的这种奇怪辐射,她就是年轻的波兰出生的化学家玛丽·斯可罗多夫斯卡(居里夫人),在这之前一年,她刚与发现居里温度(见第五章)的皮埃尔·居里结了婚。

皮埃尔·居里与他的弟弟雅克·居里合作,发现若外加压力于某些晶体,则一边会产生正电荷,而另一边会产生负电荷。此现象称为**压电现象**。居里夫人决定借助压电来测量铀放射出来的辐射。她装置了一套设备,借助铀的辐射可以游离两极间的空气,而后会有电流流动,此小电流的强度可以通过测量为产生制衡反向

电流所施加结晶体的压力大小而获得。此法非常有效，因此皮埃尔·居里立刻放弃自己的工作，用其毕生精力加入其夫人的研究。

提出**放射性**这一术语以描述铀元素的放射能力的人就是居里夫人。她后来以第二种放射性物质——钍继续来证明该现象。此后，很快其他的科学家也陆续有许多重要的发现。从放射性物质发射出来具有穿透力的辐射线，比 X 射线更具有穿透力，而且能量更高；现在它们被称为 γ(伽玛)**射线**。另外，放射性元素也被发现会放射其他种类的辐射，而这些辐射导致后来发现原子内部的结构，关于这点在另一章再谈(见第七章)。在讨论元素时最值得注意的是发现放射性元素在发出射线的过程中会转变为另一种元素——后来叫做**嬗变**。

居里夫人是第一位研究这种现象的本质的人，她是由于一个偶然的机会开始这项研究的。当她正在测试沥青铀矿是否含有值得再提炼的足够铀元素时，她和她的丈夫很惊讶地发现，其中有几块矿石的放射性甚至比纯铀应该具有放射性还要强。当然这意味着在沥青矿里还存有其他的放射性元素。这些未知元素只能以少量存在，因为一般的化学分析都检验不出来，所以它们必定有很强的放射性。

最令居里夫妇兴奋的是，他们取得了几吨的沥青铀矿，并在一个小木棚里建造了他们的工作场所，在极为简陋的情况下，以极大的毅力驱策着他们前进——为了找出极少量的新元素，他们继续与那又黑又重的矿物奋斗。在 1898 年 7 月，他们分离出放射性强度为同量铀元素 400 倍的少量黑色粉末。

这种粉末是一种化学性质与碲元素相似的新元素，因此在周期表中它应该排在碲的下方(后来它的原子序数被定为 84)，居里夫妇把它叫做**钋**，是以居里夫人的祖国命名的。

但是钋只能解释粉末中的一部分放射性。于是居里夫妇继续

做了更多的研究工作,并在1898年12月,提炼出了一种放射性比钋还要强的物质。该物质含有另一种元素,它的性质类似钡(后来被置于钡的下方,原子序数为88)。居里夫妇把它叫做**镭**,因为其放射性很强。

他们持续工作了4年,来收集足够的纯镭以便能够了解它。后来居里夫人在1903年把她的研究写成提要,作为博士论文。这也许是科学史上最重要的一份博士论文,她也因此赢得了两项诺贝尔奖。居里夫人和她的丈夫以及A.H.贝克勒耳因研究放射性而共同获得1903年的诺贝尔物理学奖;1911年时,居里夫人又因发现钋和镭而单独获得诺贝尔化学奖(因为她丈夫在1906年因车祸丧生了)。

钋和镭比铀和钍更加不稳定,换句话说,就是更具放射性,每秒有较多的原子衰变,寿命极短。事实上,宇宙里所有的钋和镭应在大约100万年里便全部消失掉。但为何在有几十亿年的地球上仍然可以找到它们呢?答案就是钋和镭在铀和钍衰变成铅的过程中会继续形成。不论在哪里找到铀和钍,同样也可以发现少量的钋和镭,它们是在铀和钍最终衰变成铅的过程中的中间产物。

通过对沥青铀矿的仔细分析和对放射性物质的深入研究,在铀和钍衰变成铅的过程中发现了其他3种不稳定的元素。1899年,戴柏伦接受了居里夫妇的建议,在沥青铀矿中寻找其他的元素,后来他找出一种叫做**锕**(源于希腊文"射线")的元素,此元素的原子序数最后定为89。翌年,德国物理学家多恩证实在镭衰变时会产生一种气体元素;放射性气体在当时还是一种新的东西。最后此元素被命名为**氡**(源自它的化学近亲镭和氩),原子序数为86。1917年,两个不同的小组——德国的哈恩和迈特纳以及英国的索迪和克兰斯顿——从沥青铀矿中分离出新元素91,命名为**镤**。

寻找遗漏的元素

到1925年,周期表中被确认的元素已有88种——其中有81种稳定元素和7种不稳定元素。这样寻找4种遗漏的元素(即第43号、61号、85号和87号元素)就十分迫切了。

因为从原子序数84～92的所有已知元素都具有放射性,科学家们很有信心地预测,85号和87号同样也具有放射性。另一方面,43号和61号由稳定元素包围着,又似乎没有理由预测它们本身不是稳定的;因此它们应在自然界中找到。

第43号元素,正好位于周期表铼元素之上方,预测和铼具有相似的性质并且可以在同样的矿物中找到。事实上,发现铼元素的诺达克、塔克和柏格小组相信,他们已检验出与元素43同样波长的X射线。所以他们宣布,他们也发现了43号元素,并命名为masurium,是以东普鲁士的一个区域来命名的。然而他们的鉴定并未受到肯定:在科学上,一项发现至少要有另一位研究者加以证实,否则就不算是一项发现。

1926年,伊利诺大学的两位化学家宣布,他们已经在含有其邻近元素(60和62)的矿物中,找到元素61,他们把这种发现物命名为illinium。同年,一对意大利化学家在佛罗伦斯大学认为,他们已经分离出相同的元素并命为florentium。但是这两组化学家的工作都没有得到其他化学家的证实。

数年后,一位亚拉巴马工程学院的物理学家,使用一套他自己设计的分析法,报告说他已找到少量的元素87和85;他称之为virginium和alabamine,是分别根据他的祖国及州名来命名的。但这些发现也都没有得到证实。

后来事实证明上述元素43号、61号、85号、和87号的“发现”是错误的。

这4种元素中,第一个被确认的是43号元素,因发明回旋加速器(见第七章)而得到诺贝尔物理学奖的美国物理学家劳伦斯以高速质点撞击42号元素钼,在加速器内制造出了这个元素。这样撞击出来的物质具有放射性。劳伦斯把它送给对43号元素非常有兴趣的意大利化学家塞格雷去分析。塞格雷和他的同事佩列尔从钼元素中分出放射性部分后,发现它性质上很像铼,但却不是铼元素。他们认定它就是元素43。因为它不是由高原子序数元素衰变而成的产物,根本就不存在于地壳里,因此毫无疑问诺达克和他的同事们错认为他们已经找到它了。塞格雷和佩列尔最后获得了命名43号元素的权利;他们把它命名为**锝**,源于希腊字,意为"人工的",因为它是第一个在实验室里制造出来的元素。在1960年之前,已经累积了足够的锝以确定其熔点——接近2 200℃(塞格雷后来因为另一项发现得到诺贝尔奖,那项发现与另一种从实验室里制造出来的物质有关,见第七章)。

1939年,元素87终于在自然界中被发现了。法国化学家佩雷把它从铀元素的衰变产物中分离出来。元素87的存在量极少,只有在技术加以改进后才能够在以前未找到它的地方把它找出来。后来她把这个新元素命名为**钫**,是以她的祖国的名字来命名的。

元素85像锝一样,是在回旋加速器中撞击铋(元素83)时所产生的。1940年,塞格雷、科森和麦肯齐在加利福尼亚大学分离出元素85,那时塞格雷已经从意大利移民到美国。第二次世界大战中断了他们对此元素的研究工作,但是战后他们又继续研究,而在1947年,将这个元素命名为**砹**,源于希腊字,意为"不稳定"(当时,他们就像提炼钫一样,在自然界从铀的衰变产物中发现了微量的砹)。

至于第四个也是最后一个遗漏的61号元素,已经从铀裂变

(此过程可见第十章的说明)的产物中找到(锝也在这些产物中出现)。三位橡树岭国家实验室的化学家——马林斯基、格伦丁宁及科里尔——于1945年分离出61号元素。他们把它命名为**钷**,是根据盗取太阳之火给人类的希腊半神半人的普罗米修斯来命名的,因为61号元素是从原子炉内太阳般的烈火中盗取出来的。

至此,元素一览表从1～92终于完整了。但是从某种意义上说最艰巨的历程才刚刚开始。因为科学家已经打破了周期表的界限,铀不再是最后一个元素了。

超铀元素

对于原子序数超过铀的元素——**超铀元素**——的研究早在1934年就开始了。费密在意大利以一种新发现的叫做**中子**(见第七章)的亚原子粒子来轰击元素时,常把该元素转变成原子序数比它大1的元素。难道铀能造成93号元素——一种完全人工合成的元素?当时人们认为这种元素在自然界中是不存在的。费密小组继续以中子轰击铀并得到他们认为确实是93号元素的产物,称之为**铀**X。

1938年,费密因为研究中子轰击而获得诺贝尔物理学奖。当时,他对这项发现的真正意义,或这项发现对人类将会产生的后果,甚至连想也没有想过。像另一位意大利人哥伦布一样,他所发现的虽然不是他本来想找的东西,但重要性却远远超过他当时所能想象到的。

在这里只要指出一点就够了,人们在错误的道路上进行了一系列追索之后,终于发现费密所做的并不是创造了一种新元素,而是把铀原子分裂成两个大致相等的部分。当物理学家在1940年又着手研究这个过程时,93号元素的出现几乎可说是实验的偶然结果。以中子轰击铀得到的混合物元素中,有一种起初无法辨认

的元素,使加利福尼亚大学的麦克米伦渐渐明白,也许核裂变放出来的中子把铀原子转变成原子序数更大的元素,这种推测正如费密所希望发生的一样,麦克米伦和艾贝尔森后来证明这个未鉴定的元素,事实上就是93号元素。证实这个元素存在的证据是它在放射性方面所具有的特点,这是后来新发现的所有元素的共同情况。

麦克米伦认为另一个超铀元素也许与93号元素混在一块。化学家西博格与他的同事A.C.沃尔和肯尼迪一起实验,不久便证实了这项推测,这个元素就是94号元素。

一度被认为是周期表的最末一个元素的铀,由于是以那时新找到的行星天王星来命名的,故93号、94号元素也是以后来找到的海王星和冥王星来命名:它们分别是**镎**和**钚**。后来因为发现铀矿里存有少量的镎和钚,这样铀毕竟不是最重要的天然元素了。

西博格和加利福尼亚大学的一个研究小组,其中有杰出的吉尔索,他们一个接着一个继续制造出更多的超铀元素。1944年,他们以亚原子粒子轰击钚,产生了95号和96号元素,并分别命名为**镅**(是以美国这个名字来命名的)和**锔**(是以居里夫妇来命名的)。当他们制造出足够量的镅和锔时,再以中子来轰击这些元素,于1949年成功地制造出97号元素。1950年制造出98号元素。它们分别被命名为**锫**和**锎**,是以伯克利和加利福尼亚州来命名的。1951年,西博格和麦克米伦以这一连串的成就而获得了诺贝尔化学奖。

接下来的元素则是在更加灾难性的情况下被发现的。99号和100号元素是在1952年11月太平洋第一颗氢弹爆炸时发现的。虽然在爆炸碎片里检验出这些元素的存在,但是却一直到1955年加利福尼亚大学的研究小组在实验室里造出这两种少量元素之后,才被肯定与命名。为了纪念数月前逝世的爱因斯坦和

费密，命名为**锿**和**镄**。然后这个研究小组又以中子轰击少量的锿并生成101号元素。为了纪念门捷列夫，把它称为**钔**。

接着加利福尼亚大学和瑞典的诺贝尔研究所共同合作。诺贝尔研究所用一种特别复杂的轰击方式产生了少量的102号元素。后来为了对该研究所表示崇敬之意，把它命名为**锘**。此后用别的方法而不是诺贝尔研究所最先采用的方法也得到了这个元素，以致在锘正式被接受成为这个元素的名字之前，又拖了一段时间。

1961年，加利福尼亚大学检验出103号元素的一些原子，为纪念刚刚去世的劳伦斯而命名为**铹**。1964年，苏联弗勒罗夫领导下的小组报导说已经制造出104号元素，并且在1967年制造了105号元素。但是这两项实验及其制造元素时所使用的方法没有得到确认。美国吉尔索领导下的研究小组以其他的方法造出了这两种元素。苏联小组把104号元素命名为**𬬻**，以纪念1960年逝世的库尔恰托夫，他曾担任过苏联一个专门研究原子弹系统的领导人。而美国的研究小组却把104号元素命名为**𬬻**，把105号命名为**𬭊**，以纪念卢瑟福和哈恩，因为他们两人在亚原子结构方面有很重要的贡献。已经报导的元素达到109号。

超重元素

在攀登超铀元素的过程中，每一步都比前一步更困难。在每一个连续阶段，元素变得更难积聚和更不稳定。当到钔时，鉴定的工作只好根据17个原子来进行。幸运的是，到1955年时，辐射线检验技术有了极大的改进。伯克利的科学家们把他们的仪器装到警铃上，以便每次有钔原子产生时，钔分裂发射出来的特征辐射都能使铃声大作，来宣告已经发生了这件事(消防部门很快地就禁止了这种做法)。

原子序数较高的元素是在更罕见的情况下被检验出来的。只

要注意衰变产物的细节,就可以检验出被检元素的单个原子。

科学家们除了盼望有打破纪录以及在科学史上写下他们是某种元素的发现者那种激动的欢乐外,还有什么能使他们有更进一步的努力呢(最伟大的化学家拉瓦锡,从来就没有完成过这样的发现,因此,失败的感觉经常深深地困扰着他)?

一种可能的重要发现有待挖掘。原子序数增加时,不稳定性的增加并不是均匀的。最复杂的稳定原子是铋(83 号)。在它之后,从 84 号~89 号,6 种元素都非常不稳定,以致在地球形成时它们的存在量到目前已经完全消失。然而,令人惊讶的是后继的钍(90 号)和铀(92 号)几乎是稳定的。在地球形成时原来就存在的钍和铀之中,如今前者还存在 80%,后者为 50%。对这一现象,物理学家已找出原子结构的理论来加以解释(在下一章中说明)。如果那些理论是正确的话,那么 110 号和 114 号元素应该比根据它们的高原子序数所预期的更稳定。因此,作为检验理论的一种方法,人们对得到这些元素相当有兴趣。1976 年有一篇报道说,某些**光轮**(云母中的环状黑点)可以显示出这些**超重元素**的存在。由小块的钍和铀放射出来的辐射会产生普通的光轮,但是有少数特大的光轮则一定是由能量更高的放射性原子所产生的,而且这些原子一定尚有足够的稳定性才能持续到今天,这些可能就是超重元素。很不幸,这种推论未受到科学家们的普遍支持而遭到搁置。科学家们仍在关注着。

电　　子

当门捷列夫和他的同辈发现元素在周期表中可以排在由性质相似的物质组成的族时,他们还不明白为什么某些元素可以排入同一族,也不明白为什么性质会相关。终于一个清楚而又相当简

单的答案出现了,不过这个答案是在一系列乍看起来似乎与化学并没有什么关系的发现之后才出现的。

这一切都是随着电现象的研究开始的。法拉第完成了他能想到的每个电学实验后,打算进行一次让电荷通过真空的实验。但是他不能得到适合此目的的真空。到了 1854 年,一位名叫盖斯勒的吹玻璃的德国人发明了一种符合要求的真空泵,并制造出从未有过的真空内封有金属电极的玻璃管。当实验者在**盖斯勒管**内成功地实现了真空放电时,他们注意到在负电极反方向的管壁上出现了一种绿色的辉光。1876 年,德国物理学家 E. 戈德斯坦认为,绿色辉光是由法拉第称为**阴极**的负极产生的某种辐射撞击到玻璃上所引起的。E. 戈德斯坦把这种辐射称为**阴极射线**。

阴极射线是一种电磁辐射吗? E. 戈德斯坦认为是,但英国物理学家克鲁克斯和其他的人却说不是;他们认为阴极射线是某种粒子束。克鲁克斯设计改进了盖斯勒管(称为**克鲁克斯管**),借助这种真空管他能够证明这种射线会被磁铁偏转。因此,这种射线可能是由带电粒子所组成的。

1897 年,物理学家 J.J. 汤姆孙证实了阴极射线也会被电荷影响而偏转,无疑解决了这一问题。然而这些阴极"粒子"是什么呢?那时候惟一知道的带负电的粒子是原子的负离子。实验证明,阴极射线粒子不可能是这种离子,因为它们受电磁场的偏转如此强,所以它们必然具有难以想象的高电荷,要不就是非常轻的粒子,质量不到氢原子的 1/1 000。后一解释最能与证据吻合。物理学家们已经在猜测粒子携带电流,因此这些阴极射线粒子被认为是电的基本粒子。它们被称为**电子**——1891 年由爱尔兰物理学家斯托尼提出来的一个名字。最后电子的质量被定为氢原子的 1/1 837。J.J. 汤姆孙由于确定了电子的存在,因而获得了 1906 年的诺贝尔物理学奖。

电子的发现立刻联想到电子可能是原子的亚粒子——换句话说,原子并不像德谟克利特和道尔顿所想象的是物质最终的不可分割的单位。

这是难以相信的,但一系列的证据无情地证明了这一点。最令人信服的一个证据是,J.J. 汤姆孙证明金属板受到紫外光照射时所放出来的负电粒子(**光电效应**)与阴极射线的电子相同。光电子一定是从金属原子中被撞击出来的。

周期表的周期性

因为电子可以容易地从原子放出(除光电效应外还可由别的方法),自然得出它们会位于原子外层的结论。若是如此,原子内一定有正电荷区来平衡电子的负电荷,因为整个原子通常是中性的,正是在这点上研究者们开始向揭开周期表的神秘之处迈进。

从原子放出电子,需要少量的能量。相反地,当电子填入原子中的空位时,它也一定会**放出**相等的能量(自然界通常是对称的,尤其在考虑能量时)。此能量会以电磁辐射的形式放出来。由于辐射能通常是以波长来衡量,所以电子填入特定原子内放射出的辐射线的波长会表示此电子受原子束缚力量的大小,辐射能随波长减少而增加:能量愈高,波长愈短。

现在我们来讲一讲莫塞莱的发现,即金属(指较重元素)产生X射线,而每一种X射线又各有它们自己的特定的特征波长并很有规律地随周期表的上升而减小。每个后继的元素似乎都把电子束缚得比前一个紧——换句话说,每个后继元素其内部具有较高的正电荷。

假定每单位正电荷与电子上的负电荷相当,由此得出每个后继元素的原子一定比前者多一个电子。描述周期表的最简单方式是假定第一个元素氢具有 1 个单位的正电荷和 1 个电子;第二个

元素氦有 2 个正电荷及 2 个电子；第三个元素锂有 3 个正电荷及 3 个电子。依此类推一直到铀，它有 92 个正电荷及 92 个电子。这样一来，元素的原子序数原来是在它们的完整原子中的电子数目。

这是一个更重要的线索，使原子科学家解决了周期表中的周期性问题。进一步研究表明，给定元素的电子辐射不一定限于单一的波长；它可能放射二、三、四或更多个不同波长的辐射。这些辐射称为 **K 系**、**L 系**、**M 系**等等。科学家们推断出电子排列在围绕带正电的原子核的壳层里。最内层的电子束缚得最紧，移走它们需要最多的能量。电子落到此层会放出最高能量辐射，即最短波长或 K 系。次最内层的电子产生引起 L 系的辐射；下一层产生 M 系等等。因此这些壳层也被称为 **K 层**、**L 层**、**M 层**等等。

在 1925 年，奥地利物理学家泡利提出他的**不相容原理**，它正好解释电子怎样分布在每个壳层内。根据这个原理，没有两个电子具有完全相同值的**量子数**。由于这项工作，泡利在 1945 年获得了诺贝尔物理学奖。

稀有或惰性气体

1916 年，美国化学家路易斯根据壳层的结构，找出了一些较简单元素的性质和化学行为的类似关系。首先有充分证据说明，根据泡利不相容原理，最内层的电子被限定为 2 个，氢只有 1 个电子；因此其壳层尚未填满。原子的倾向是填满该 K 层，它可以若干方式这样做。例如，两个氢原子可以共享它们的单一电子和共用两个电子相互填满它们的 K 层。因此，氢几乎总是以一对原子的形式——氢分子存在。要把氢分子分解成**原子态的氢**，需要很多能量。通用电子公司的朗缪尔独立地找出了包括电子和化学行为的相似型式，并表现出氢原子强烈地倾向于维持它的电子层填

满的实际证明。他让氢通过电弧使氢分子中的原子分开而做成了**原子氢火炬**;当氢原子通过电弧再结合时,会放出分开成原子态时所吸收的能量,这样会产生高达3400℃的高温。

在第二个元素氦中,其K壳层已由两个电子填满;因此,氦原子是稳定的并不与其他的原子结合。对第三号元素锂,我们发现它的2个电子填充K壳层,第三个电子开始L壳层。而后继的元素把电子一个接一个地填入此层:铍在L层有2个电子、硼有3个、碳4个、氮5个、氧6个、氟7个、氖8个。正如泡利所证明的,L层的极限是8个;因此氖和氦对应,它们最外层电子刚好填满。的确它的性质像氦,也是一种惰性气体。

每个外层未填满的原子有与其他原子结合的倾向,以这种方式丢失电子以具有填满的外层。例如,锂原子容易失去1个L层电子,以致它的外层是填满的K层,而氟倾向于抓住1个电子和它的7个电子合起来完成L层。因此锂和氟互相有亲和力;在它们结合时,锂把L层电子供给氟以填满氟的L层。由于原子内部的正电荷不改变,减去一个电子的锂现在带一个净的正电荷,而氟附加一个电子带一个净的负电荷。

反电荷互相吸引,使得这两个离子紧密地结合在一起,此化合物被称为氟化锂(见图6-1)。

L层电子可以共用和转移。例如,两个氟原子中的每一个都可与另外一个原子共用它们的1个电子,以致每个原子的L层包括共用电子在内都共有8个电子。同样,两个氧原子合用4个电子以填满L层;两个氮原子可共用6个电子。因此氟、氧和氮都形成双原子分子。

碳原子的L层里只有4个电子,和不同的氢原子共用每一个电子,因此把4个氢原子的K层填满,并由共用它们的电子依次填满碳自己的L层。这种稳定的排列是甲烷分子CH_4。

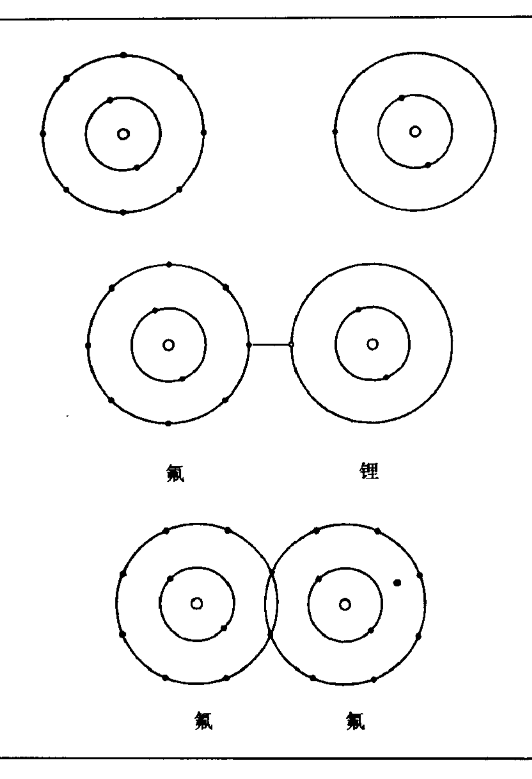


图 6－1　电子的转移和共用。在结合成氟化锂时，锂把外层电子转移给氟，于是每个原子都有填满的外层。氟分子中，两个电子被共用，填满了两个氟原子的外层

同样，1 个氮原子会和 3 个氢原子共用电子生成氨；1 个氧原子和 2 个氢原子共用电子生成水；而 1 个碳原子和 2 个氧原子共用电子生成二氧化碳，等等。由周期表前面部分的元素所生成的化合物几乎都可以根据丢掉电子、接受电子或共用电子等方式填满最外层的倾向来说明。

在氖之后的元素钠有 11 个电子,第 11 个电子必须开始第 3 层。后面的镁在 M 层有 2 个电子,铝有 3 个,硅有 4 个,磷有 5 个,硫有 6 个,氯 7 个,氩 8 个。

现在这一族的每个元素都与前一列的每个元素相对应。在 M 层内有 8 个电子的氩的性质像氖(在 L 层有 8 个电子)并且是个惰性气体。氯在它的外层有 7 个电子,化学性质类似氟。同样地,硅类似碳,钠类似锂,等等。

这种情形贯穿了整个周期表。例如,由于每个元素的化学行为都取决于它最外层的电子构型,因而所有在外层有一个电子的元素化学反应极为相像,因此周期表第一行的所有元素——锂、钠、钾、铷、铯,甚至放射性元素钫——它们的化学性质非常相似。锂 L 层有 1 个电子,钠在 M 层有 1 个、钾在 N 层有 1 个、铷在 O 层有 1 个、铯在 P 层有 1 个和钫在 Q 层有 1 个电子。此外,有关的外层有 7 个电子的所有元素——氟、氯、溴、碘和砹——相互相似。对周期表的最后一行也同样正确,其封闭壳层包括氦、氖、氩、氪、氙、氡。

路易斯-朗缪尔的概念如此美好,以至于即使以它的原始形式仍适用于解释元素间较简易而直接的不同行为。但是,并非所有的行为都如想象的那么简单和直接。

例如,每个惰性气体——氦、氖、氩、氪、氙和氡——最外层都有 8 个电子(除氦在它的壳层有 2 个电子外),这是最稳定的可能情况。这些元素的原子得到或丢掉电子的倾向最小,参加化学反应的倾向也最小,像它们的名字表明的一样,这些气体都是**惰性的**。

然而"最小倾向"不是真的"没有倾向",但是大部分的科学家忽略了这个事实,因而认为惰性气体根本不能在形成化合物中起作用。这对它们全体都不是真的。早在 1932 年,美国化学家泡令

已考虑到从不同的元素除去电子的情况,并注意到所有的元素都不例外,即使是惰性气体也可能被夺去电子。但是移去惰性气体的电子所需耗费的能量要比周期表中靠近它们的元素高。

在任何一族元素之间移去电子所需要的能量都随原子量的增加而减少,因此,对最重的惰性气体氙和氡,没有显著地高要求。例如,从氙除去1个电子并不比从氧原子移去困难。

泡令因此预言,比较重的惰性气体也许能与具有特别倾向于接受电子的元素形成化合物。最渴望接受电子的元素是氟,因此氟似乎是天然的对象。

最重的惰性气体氡是放射性的,只能微量使用。然而,次重的氙既稳定在大气层内又有少量存在,因此,最佳的机会是设法在氙和氟之间形成化合物。但是,30年来这方面始终毫无进展,主要是因为氙很贵,而氟又很难处理,化学家们觉得做其他研究比追逐这种捉摸不定的东西要实际得多。

然而在1962年,英国血统的加拿大化学家巴特勒特研究一种新的化合物:六氟化铂(PtF_6),发现这个化合物非常渴望得到电子,几乎与氟本身一样。此化合物会夺走氧的电子,但氧在正常情况下却是一种渴望得到电子而不是丢掉电子的元素。如果六氟化铂可以从氧带走电子,它也应该可能从氙带走电子,因此试着做了此项实验,发现了氟铂酸氙($XePtF_6$)这个化合物,它是被发现的第一个惰性气体的化合物。

另外一些化学家立刻投入此项竞赛中,并生成许多与氟、氧或是两者的氙化合物,其中最稳定的是二氟化氙(XeF_2)。另外还生成了氪和氟的化合物,四氟化氪(KrF_4)和氟化氡。也与氧生成化合物,例如有四氟氧化氙($XeOF_4$)、氙酸($HeXeO_4$)和高氙酸钠(Na_4XeO_4)等,最值得注意的也许是易于爆炸的和有危险的三氧化二氙(Xe_2O_3)。较小的惰性气体——氩、氖和氦,比较大的惰性

气体更抗拒共用它们的电子,对所有的化学家仍保持其惰性。

化学家很快从发现惰性气体可以形成化合物的震惊中恢复过来:毕竟这种化合物也适于一般的状况。因此,目前人们已不大愿意把这些气体说成**惰性气体**,而喜欢代之以**稀有气体**的名字,而且说**稀有气体化合物**和**稀有气体化学**。

稀土族元素

路易斯-朗缪尔的概念不仅不适用于惰性气体,而且几乎完全不能用于原子序数大于20的多数元素,特别是涉及周期表中令人为难的方面,包括第57～71号在内的所谓**稀土元素**时,就不得不加以改进了。

回顾一下过去,早期的化学家把不溶于水和受热不改变的任何物质都看作**土**(古希腊人遗留的观点,将"土"看作一种元素)。这种物质包括今天我们所说的氧化钙、氧化镁、二氧化硅、氧化铁、氧化铝等——事实上这些化合物大约构成了地壳的90%。氧化钙和氧化镁是微溶的,在溶液里呈**碱**性(即与那些酸相反),被称为**碱土族**,当戴维从这些土中分离出金属钙和镁时,它们就被称为**碱土金属**,最后,周期表中与镁和钙一行的元素,即铍、锶、钡和镭,均叫做碱土金属。

1794年,芬兰化学家加多林研究了在瑞典的一座小村庄(于特比)附近找到的奇特岩石,并认定它是一种新的"土",加多林称该"稀土"为**镱**。后来德国化学家克拉普罗特发现镱可以分成两种"土",其中一种他沿用了原名镱,另一种则命名为**铈**(是根据新发现的小行星"谷神星"命名的)。但是瑞典化学家莫桑德尔后来又把它们分成一系列不同的"土"。最后证实这些"土"全都是被称为**稀土金属**的新元素的氧化物。到1907年,已有14种元素被鉴定。按原子量增加的次序,它们为:镧、铈、镨、钕、钐、铕、钆、铽、镝、

钬、铒、铥、镱、镥。

根据它们的 X 射线性质，把这些元素的原子序数定为从 57（镧）到 71（镥）。如前面所提到的，在 61 号处有一空位直到从铀的裂变物中发现钷为止。它在表中占第 15 位。

现在稀土元素麻烦的问题在于，它们显然不能刚好填入周期表内。幸好在门捷列夫提出周期表时，这类元素只有 4 个被确切知道；假如当时所有的这些元素都已被发现的话，那么整个表将会混乱得难以令人接受了。有时候，即使是在科学领域里，无知也是福。

第一个稀土金属镧，和钇很相称，钇的原子序数为 39，在周期表内位于镧之上（图6-2。虽然钇与稀土族元素是在同样的矿中

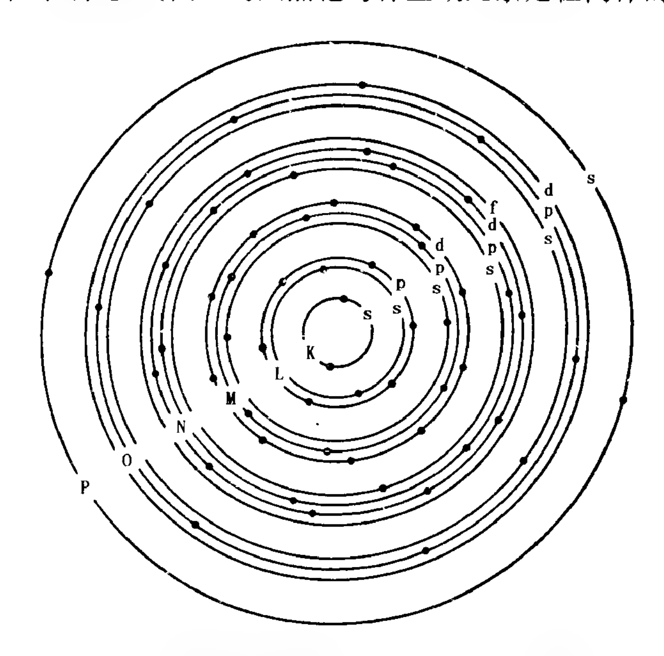


图 6－2　镧的电子壳层　注意 N 层的第四亚层已经跳过并未占用

发现的,性质也与稀土金属相似,但它不是稀土金属)。稀土元素造成的混乱是在镧之后即铈才开始的,它应该和钇后面的元素即锆相像,但一点也不像;相反而是再次与钇相似。稀土族的15个元素都是这样,性质都很像钇且彼此相似(事实上它们化学性质如此相似,以致早期除了用最冗长的步骤外,便无法把它们分开),但是它们与表内它们前面的任何一个元素都没有关系。我们必须跳过整个稀土族接到72号元素铪,才能找到和钇后面的元素锆相关联的元素。

由于这种情况,化学家们只好把所有稀土元素聚集在钇正下方的一个框中,并单独地排列在周期表的脚注里。

过渡元素

人们对路易斯-朗缪尔关于元素电子壳层结构的概念加入一些细节后,才找出了这个难题的答案。

1921年,布里提出壳层未必局限于8个电子。虽然8个总是足够满足外层,但当该层不在外面时,可以具有比较大的容量。当一个壳层的外面又形成了另一层时,内层可吸收更多的电子,而每个后继壳层也可以比前一个容纳更多的电子。因此K层的总容量为2个电子,L层为8个,M层18个,N层32个,等等——增加的数目按顺序层数的平方乘以2(即2×1、2×4、2×9、2×16等等)。

详细研究元素的光谱支持了这种观点。丹麦物理学家玻尔指出,每个电子层都是由能级略微不同的亚层组成的。在每个后继的壳层里,亚层的向外扩展比较大,因此壳层间会互相重叠。结果,内层(比方说M层)的最外亚层,实际上可以说,可能比下一层(比方说N层)的最内亚层离中心更远。既然如此,可能N层的较内层已填满电子,而M层的较外层还是空的。

一个例子会把这一点弄清楚。根据这个理论，M层划分成三个亚层，它们的容量分别是2、6和10个电子，共18个电子。在M层具有8个电子的氩，已填满电子的只有里面的两个亚层。事实上，M层的第三亚层或最外层，在元素增添的过程中不会得到下一个电子，因为它位于N层的最内亚层之外。就是说，氩之后的钾，其第19个电子并不是进入M层的最外亚层，而是进入N层的最内亚层。钾在N层有1个电子，像M层有1个电子的钠。下一个元素钙(20)，在N层有2个电子，像M层有2个电子的镁。但现在N层仅有2个电子位置的最内亚层已经满了，再加入另一个电子可以开始填充M层的最外亚层，而此层到目前为止却尚未接触过。钪(21)开始该过程，而锌(30)完成它。在锌里，M层的最外亚层终于达到它的10个电子的补充。锌的30个电子分布如下：2个在K层、8个在L层、18个在M层、2个在N层，此时，电子可以再继续填入N层。下一个电子使N层有3个电子并形成镓(31)，它像M层有3个电子的铝。

在填充那个曾被暂时跳过的亚层的过程中所形成的21～30号元素为**过渡**元素。注意钙的性质像镁，镓的性质像铝。而镁和铝是周期表内相近的元素(第12号和13号)，但钙(20)和镓(31)却不是。它们之间有过渡元素存在，这导致周期表的复杂性。

N层比M层大，划分成4个亚层而不是3个：它们分别可容纳2、6、10及14个电子。36号元素氪填充N层的2个最内亚层，但这里有重叠的O层的最内亚层介入，因此，在电子进入N层外的2个亚层前，它们要先填充O层的最内亚层。氪之后的元素铷(37号)在O层有它的第37个电子，锶(38号)完成O亚层2个电子的填充，因此，一个新系列的过渡元素陆续填入N层跳开的第三亚层，到镉(48号)完成。而后电子跳开N的第四亚层，填入O的第二最内亚层，以氙(54号)结束。

但是甚至现在N的第四亚层都必须等待它的轮到;因为在这个阶段,重叠得太厉害,甚至连P层也插入一个亚层,而在N的最后亚层填满以前,一定要先填这个P的亚层。氙之后的元素铯(55号)和钡(56号)在P层各有1个电子及2个电子。N层仍未轮到,第57个电子出人意料地进入O层的第三亚层,产生元素镧(图6-3)。此时,一个电子好容易才进入N层的最外亚层。稀土元素挨个地把电子加到N层直到71号元素镥,才最后填满它。镥的电子是这样排列的:2个在K层,8个在L层,18个在M层,32个在N层,9个在O层(2个亚层填满,加上1个电子在次亚层)和2个在P层(最内亚层填满)。

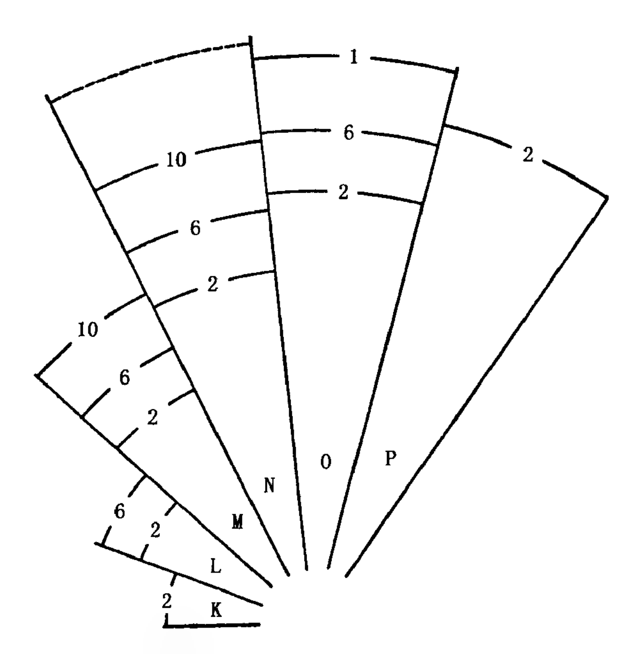


图6-3 镧的电子层和亚层重叠示意图。N层的最外亚层尚须填充

现在我们终于开始看到为什么稀土元素和一些其他过渡元素的族如此相似。就化学性质来说,决定元素差异的是它们最外层的电子构型。例如,碳在它的最外层有4个电子;氮有5个,在性质上它们完全不同。另一方面,电子忙于填入内亚层而最外层却保持不变的一列元素,其性质改变不大。如铁、钴和镍(26、27和28号元素),它们全都有相同的外层电子构型——一个N亚层被两个电子填充,化学行为极为相似。它们内部电子的差异(在M亚层)在很大程度上被它们的表面相似盖住。至于稀土族元素,这点更加突出。它们的差异(在N层)不是埋在一个而是埋在两个外层电子构型(在O层和P层)之下,在所有这些元素中都是相同的。因此,这些元素化学上像豆荚内的豆子一样相似便不足为奇了。

因为稀土金属用途很少而且很难分离,因此化学家们没花多少功夫这样做——直到铀原子被裂变为止。后来,分离这些稀土金属变成紧急的事,因为在裂变的主要产物中含有这些元素中的某些放射性的品种,而在原子弹设计中,必须迅速而清晰地把它们分离开并加以鉴定。

由于采用了1906年俄国植物学家茨维特首先设计的化学方法,称为**色谱分析法**,使这个问题得到了迅速解决。茨维特发现,用溶剂把化学性质相似的植物染料①从装有粉末状石灰的长管中冲洗下来,可以将它们分离。他把植物染料的混合物溶在石油醚中并倒在石灰上,然后以纯净的溶剂不断地淋。当染料慢慢地通过石灰粉末冲洗下来时,每种染料以不同速度移下,因为附着于粉末上的强度各不相同,结果它们分成了一系列不同颜色的色带。继续冲

① 原文为颜料——译注

洗,分离物质在柱底一个接着一个分开淋下。

许多年来科学界忽视了茨维特的发现,也许是因为他只是个植物学家又是个俄国人,而当时关于难分离物质的研究的领导者都是德国的生物化学家。但在1931年,德国的生物化学家威尔施泰特重新发现了这种方法,从此才进入一般使用(威尔施泰特因为在植物染料方面的优异研究,得到了1915年的诺贝尔化学奖。而据我所知,茨维特却没有得到荣誉)。

发现经过粉末柱的色谱几乎对一切种类的混合物——无色的以及有色的——都见效。氧化铝和淀粉被证实用来分离一般分子比石灰好。分离离子的过程叫做**离子交换**;一种名为**沸石**的化合物是第一个用来完成此目的的有效试剂。例如,人们把水倒入沸石长柱,可以从**硬水**里除去钙离子和镁离子。钙离子和镁离子附着于沸石上,被溶液里原先存在于沸石上的钠离子取代,因此软水就从长柱的底部滴出来。沸石的钠离子必须由注入高浓度的食盐溶液不断地补充。1935年,随着离子交换树脂的发展又有了改进,这些合成物质可以根据所要完成的工作来设计,例如,某些树脂可用氢离子取代正电离子,而另一些树脂则可用氢氧离子取代负离子;合并这两类树脂可除去海水中的大部分盐。装有这种树脂的工具包在第二次世界大战期间是救生筏上急救设备的一部分。

美国化学家斯佩丁采用离子交换色谱来分离稀土。他发现这些元素以原子序数相反的次序流出离子交换柱,因此它们不仅被快速地分离而且也被鉴定。事实上,遗漏的61号元素钷就是从裂变产物的微小含量中以这种方法证实的。

由于色谱法,我们今天才可能成公斤甚至成吨地制备纯稀土。原来稀土并不是特别稀少的,它们之中最稀少的(除钷以外)比金或银还要多,而最丰富的——镧、铈和钕——比铅丰富。所有稀土金属占地壳的百分比例比铜和锡合起来还多,所以科学家巧妙地

丢开**稀土**这个名称而改称这一系列的元素为**镧系**,根据领头元素来命名。的确,各个镧系元素在过去用得并不多,但是现在分离的技术已使它们的用途增多,到 20 世纪 70 年代,一年用掉 1 100 万公斤(约 2 500 万磅)。铈-镧合金是一种主要含有铈、镧、钕的混合物,占香烟打火机火石重量的 3/4。氧化物的混合物用于抛光玻璃,不同的氧化物加入玻璃来制造某些希望的性质。某些铕和钇氧化物的混合物在彩色电视里当作红敏的磷光体等等。

锕系元素

对镧系的深入了解所取得的成就并不局限于镧系的实际应用。这方面的新知识也提供了打开了解周期表末端一些元素(包括那些合成的元素)化学性质大门的钥匙。

上面所说的一系列重元素以 89 号锕开始。在周期表中锕放在镧的下方。锕在 Q 层有 2 个电子,正如镧在 P 层有 2 个电子一样。锕的第 89 个即最后一个电子填入 P 层,正如镧的第 57 个即最后一个电子填入 O 层一样。现在问题是:锕之后的元素是否继续把电子加入 P 层,因而依然是一般的过渡元素?或者,它们按照镧后元素的模式偶尔把电子填入跳开的亚壳层呢?若为后者,那么锕可能开始一个新的稀土金属系列。根据第一个元素,称它们为**锕系元素**。

在锕系元素中,天然元素有锕、钍、镤和铀。在 1940 年以前对它们没有做过多少研究。关于它们的化学性质所知甚少,曾假定它们是普通的过渡元素。但是当人造元素镎和钚加到表中,并经深入研究,这两种元素显示出化学性质与铀非常相似。因此西博格提出,重元素实际上是按照镧系元素的模式填入受遮盖未填满的 O 层的第四亚层。到锘时亚层已填满,因而有 15 个锕系元素,与 15 个镧系元素完全相似。其中一个重要的证明就是,离子交换

色谱可以用分离镧系元素的同样方式分开锕系。

另外,104 号元素铲及 105 号元素铧是**超锕系元素**系列的元素,化学家们确信,它们位于铪和钽的下方,铪和钽两元素在镧系元素之后。

气　　体

从化学一出现开始,人们就认识到,许多物质能够随着温度的变化以气态、液态或固态的形态存在。最常见的例子是水:充分冷却,可以变成固态的冰;充分加热,又可以变成气态的水蒸气。范黑尔蒙特首先使用**气体**这个词。他把常温下的气体,如二氧化碳,与只有升高温度才能形成的气体(如蒸气)区别开来。现今,我们仍然说水蒸气,而不说水气。

对于气体或蒸气的研究继续吸引着化学家们,部分原因是它们本身适于定量的研究,而支配气体行为的规则也比支配液体和固体的规则简单,且更容易求出。

液化

1787 年,法国物理学家查理发现当气体被冷却时,每冷却 1 度,使体积约缩小为 0℃ 时的 1/273;相反,每增加 1 度,同样引起体积膨胀 1/273。加热产生膨胀的现象并不会产生逻辑上的困扰,但是如果随冷却收缩继续,根据查理定律(作为今天的称呼),则在 -273℃ 时,气体将会收缩到什么也没有了。这一矛盾并未特别使化学家困惑,他们相信**查理定律**并非在任何状况下都能成立。因为随着温度的下降,气体便凝结成液体,但是液体并不会像气体一样随温度下降而缩小体积。而且,化学家们也没有任何方法得到最低温度以观察实际上发生什么情况。

原子理论由把气体描述为分子的聚集发展为用新术语来表达这一情况。体积现在被看作取决于分子的粘度。温度愈高，分子移动愈快，它们就需要更多的"活动空间"和更大的体积。相反，温度愈低，分子移动愈慢，需要的活动空间和体积就愈小。19 世纪 60 年代，刚被晋升为开尔文勋爵的英国物理学家W. 汤姆孙指出，气体分子所含平均能量每冷却 1 度衰减 1/273。其体积不能如预期般地完全消失，能量却可以。W. 汤姆孙主张在 -273℃ 时，分子能量会减少至 0。因此 -273℃ 必定代表最低可能的温度。于是该温度（根据现代测量现在定在 -273.16℃）称为**绝对零度**，也经常称为**开氏零度**。在该绝对温度上，冰的熔点为 273K（见图 6-4 华氏、摄氏和开氏温标）。

这一见解使人们更加确信，当接近绝对零度时，气体将会全部液化。由于可用的能量更少，气体分子需要很小的活动空间，以致互相压缩而接触。换言之，它们变成了液体。因为假设液体是由接触的分子组成的就可以解释液体的性质，但这些分子还有足够的能量移动和自由地滑下或互相超越。因此，液体能够倾注并能够容易地改变形状以适应特定的容器。

随着温度的下降，液体的能量继续减少。最后因分子所具有的能量太小，使相互无法超越，而占有某一固定的位置，在其周围只能振动不能移动。换言之，液体已经被冻结成固体了。当接近绝对零度时，所有气体不仅液化，而且冻结。这个论点似乎比开尔文的清楚。

自然在化学家们中，有人想以降低温度使所有气体先液化再凝固，再达到实际上的绝对零度，以此来证明开尔文建议的精确性。甚至在开尔文确定最终目标之前，科学家们就曾探讨过冷却的极限。法拉第发现，即使在常温下，某些气体仍可在压力下液化。他用坚固的玻璃管变成类似飞旋镖的形状，在封住的底端放

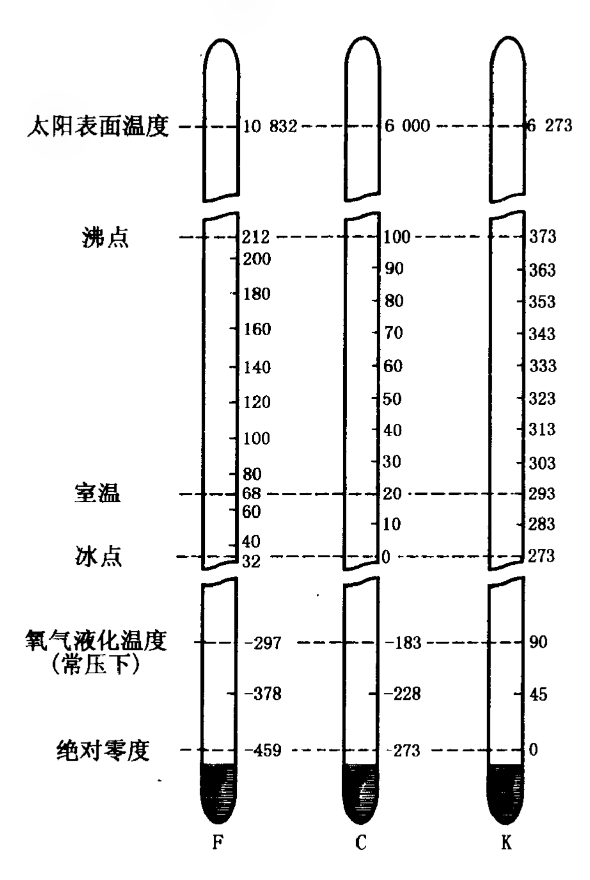


图 6-.4 华氏、摄氏和开氏温标的比较

置可产生气体的物质,然后封住开口端,将放置固体物质的那端浸入热水中,这样释放的气体量越来越大;因为气体被限制在管子中,其压力越来越增大,法拉第将管子的另一端保持在装满碎冰的烧杯中,该端气体受到高压和低温而被液化。1823 年,法拉第用此方法将氯气液化。氯气的正常液化点为 -34.5℃(绝对温度为

238.7 度)。

1835 年,法国化学家狄劳里雅利用法拉第的方法,在压力下制成液态二氧化碳。他使用金属圆筒,因为金属圆筒比玻璃管能承受更大的压力。当他制备的液态二氧化碳达一定量时,就让它经狭窄的管子流出。

当然在这种情况下,液态二氧化碳就暴露于常温下,会很快地蒸发。当液体蒸发时,其分子会受拉,离开环绕着它的分子,而变成单一的个体,自由地到处移动。在液体分子中有吸引力,反抗吸引力自由拉开需要能量。如果蒸发迅速,没有时间使足够的能量(以热的形式)进入体系,那么惟一供给蒸发的能量是液体本身。所以液体快速蒸发时,残留液体的温度会下降。

这一现象我们都曾体验过,因为人体一直在温和地排汗,蒸发我们皮肤上那层薄薄的汗从皮肤排出热量,而保持我们凉爽。天气变热,我们一定出汗更多;但是若空气潮湿,难以蒸发,汗水就会堆积在我们身上,我们的确感到不舒服。运动使我们体内放热反应增加,也增加排汗,在潮湿的条件下也感到不舒服。

当狄劳里雅(再来谈他的实验)让二氧化碳蒸发时,液体的温度会随着蒸发的过程而下降,一直到二氧化碳冻结为止。这是第一次形成固态二氧化碳。

液态二氧化碳仅在压力下稳定,固态二氧化碳暴露在常压下会**升华**——不经熔化直接挥发成气体。固态二氧化碳的升华点为 -78.5℃(194.7K)。

固态二氧化碳有云状冰的外观(尽管它很冷);由于它不形成液体,它被称为**干冰**。每年大约有 40 万吨的干冰被制造出来,其中大部分都用于经过冷冻保存食物。

利用挥发冷却使人类的生活发生了巨大变化。在 19 世纪以前,冰(当可以得到时)用于保存食物。冬天,经过绝热,将冰储藏

起来,保存至夏天;或从山上将冰搬运下来。这是一个繁重而困难的过程,而大多数人不得不熬受夏天的炎热(或者整年的热)。

早在1755年,苏格兰化学家卡伦将大量水的上面抽成真空,强迫迅速蒸发,把水冷至冰点制成冰。然而这种方法制成的冰无法与自然形成的冰相比。因为冰形成后会阻塞管子,所以这种过程也不可能简单地来间接地冷却食物。

现今,一种适当的气体由压缩机使它在室温实现液化。然后让这种液体循环于环绕着储食容器的螺旋管中。当液体挥发时,会从容器抽出热量,排出的气体由压缩机再液化、冷却,再一次循环。该过程连续地把封闭室的热排到外面的大气中。结果这种电冰箱代替了老式的**冰箱**。

1934年,美国发明家珀金斯(在英国)取得了用乙醚作为冷冻剂的专利权。其他的气体如氨和二氧化硫也开始使用,所有这些冷冻剂皆具有毒性或易燃的缺点。但是在1930年,美国化学家米奇利发现了二氯二氟甲烷(CF_2Cl_2),商品名为氟里昂,无毒(米奇利曾当众将其吸入肺部证明),而且不易燃,完全适合所需。使用氟里昂,家庭电冰箱变得普遍和平常了。

(虽然氟里昂和其他**氟碳化合物**一直被证实完全对人类无害,但是到了20世纪70年代产生了关于它们对臭氧发生不良影响的怀疑,如前章所述。)

大体积的适度致冷就是通常所说的空气调节,因为空气也经过调节——过滤和干燥。第一套实用的空气调节器是1902年由美国发明家卡里尔设计出来的。自从第二次世界大战以来,空气调节器在美国各大城市,几乎已经成为一种很普遍的电器用品了。再回头看看狄劳里雅的实验,他把固态二氧化碳加入所谓**二乙醚**(今天非常有名的一种麻醉剂,见第十一章)中。二乙醚低沸点,能迅速挥发。在它和低温的固态二氧化碳之间,固态二氧化碳升华

后，可以达到 -110℃(163.2K)。

1845 年，法拉第恢复研究液化气体的工作，在低温和高压的结合效应下，使用固态二氧化碳和二乙醚作为冷却混合物。尽管使用此种混合物而且使用的压力比以前高，仍有 6 种气体不能被液化，它们是氢、氧、氮、一氧化碳、氧化氮和甲烷；他称这些为**永久气体**。对这一列举，我们可以再加 5 种法拉第当时并不知道的气体。其中一种是氟，另外 4 种为稀有气体：氦、氖、氩、氪。

但是在 1869 年，爱尔兰物理学家安德鲁斯从他的实验推出，每种气体都有一个**临界温度**，高于此温度，即使在压力下也不能液化。这一假设后来被荷兰物理学家范德瓦耳斯放在牢固的理论基础上，因此赢得了 1910 年的诺贝尔物理学奖。

因此，要液化任何一种气体，一定得在它的临界值以下进行工作，否则只会白费力气。为了征服那些难液化的气体，人们不断地努力研究，以期达到更低的温度。一种**分级**的方法——一步步降低温度——获得了成功。首先经挥发冷却的液态二氧化硫，用来液化二氧化碳；然后再用液态二氧化碳来液化较难液化的气体等等。1877 年，瑞士物理学家皮克蒂终于在 -140℃(133K)和 500 个大气压下使氧液化了。大约在同时，法国物理学家凯泰，不仅液化了氧，而且也液化了氮和一氧化碳。当然使这些液体继续下去可能立刻达到更低的温度。最后发现氧在正常空气压力下液化点是 -183℃(90K)；一氧化碳是 -190℃(83K)；氮是 -195℃(78K)。

1895 年，英国化学工程师汉普森和德国物理学家 K. 林德独立地设计了一种大规模液化空气的方法。首先将空气压缩，并冷却至常温。再让它膨胀，在此过程中，气体会变得很冷。该冷空气用作装有压缩空气容器的气浴，直到**容器**中的气体也变得相当冷，**然后**让压缩空气膨胀，使空气变得更冷，重复这一过程，空气变得

愈来愈冷,直到液化为止。

液态空气量多而且便宜,容易分成液态氧和液态氮。氧可用于熔接用的小型吹管装置和医药的用途,氮在惰性情况下是有用的。这样,用氮充满白炽灯泡,在金属缓慢发挥损坏它们前,该灯丝比那些真空灯泡中的相同灯丝保持白炽的时间要长。液态空气也可作为较少组分例如氩和其他稀有气体的来源。

直到1900年为止,氢在液化上抗住了所有努力。苏格兰的一位化学家杜瓦使用了一种新方法才完成了此事。开尔文勋爵(W.汤姆孙)和英国物理学家焦耳曾经指出,只要开始时的温度足够低,即使在气体状态,简单地让气体膨胀并阻止热传给从外面进来的气体,一种气体也能被冷却。因此杜瓦用液体氮环绕着容器,将压缩的氢气冷至-200℃,再让此超冷的氢膨胀,进一步冷却。然后将此氢经过管子导回容器,一而再地重复这个循环。压缩氢受到**焦尔-汤姆孙效应**,终于在大约-240℃(33K)变成液体。在更低的温度下,杜瓦设法得到了固态氢。

他发明了特殊的镀银玻璃来保存他的超冷的液体,此玻璃瓶有两层壁,中间为真空。热量的散失(或得到)仅能经过真空,以较缓慢的辐射过程来进行。而银镀层会将辐射反射进来(就此而言,或反射出去)。这种**杜瓦瓶**就是现在家庭热水瓶的前身。

火箭燃料

随着火箭时代的来临,液化气体的位置一下就提升到新的吸引人的高度。火箭需要极端快速的化学反应来产生巨大的能量,最方便的燃料形式就是液态的易燃混合物,例如酒精或煤油和液态氧。氧或某种可取代氧的氧化剂,必须在任何情况下皆能被火箭携带,因为当火箭一离开大气层时,就再也得不到天然氧气的供给了。而且携带的氧必须是液态,这是因为液态比气态密度大,而

且液态氧压入燃料槽的量比气态的多。于是液态氧已成为火箭上十分重要的东西。

燃料和氧化剂混合物的效率由比冲量来量度。比冲量就是火箭发动机的推力(公斤力)与其喷出质点每秒重量流量(公斤/秒)的比值。对于煤油和氧的混合物,其比冲量等于242。因为火箭可携带的有效负载取决于比冲量,所以人们渴望寻找最佳燃料组成。从这一观点看,最佳液态燃料是液态氢。与液态氧混合,它可以产生大约等于350的比冲量。如果液态臭氧或液态氟用以代替氧,那么比冲量可提高到大约370。

某些轻金属,例如锂、硼、镁、铝,尤其是铍,它们与氧结合,可释放出比氢更多的能量。但是,其中一些金属是稀少的,并在燃烧时都包含有技术的困难——冒烟、氧化物沉积等等。

还有起自身氧化剂作用的固态燃料(像火药是第一种火箭推进燃料,但更加有效)。因为它们不需要分开供应氧化剂,而仅需要由一种推进燃料来组成,这种燃料称为**单推进燃料**。还需要氧化剂的燃料是**双推进燃料**。单推进燃料容易储存与掌握,燃烧快速但可控制。主要困难可能在于如何发展单推进燃料,使其比冲量接近双推进燃料。

另一种可能就是使用朗缪尔在他的喷灯中用过的原子氢;已经计算出氢原子再结合成分子所放出的能量,可使火箭发动机产生超过1 300的比冲量。主要的问题是如何储存原子氢,到目前最有可能的希望似乎是在氢的自由原子形成之后,马上给予极快速、极彻底的冷却。美国国家标准局的研究似乎指出,如果在极低温度下,把自由氢原子俘获在固态物质——比方冻结的氧或氩中,那样最好保存。比方说,如果我们一推按钮,就能让冻结的气体开始变热而蒸发,那么氢原子会释放出来重新结合。即使这类固体所能囚锢的自由氢原子仅占其重量的10%,这种燃料也将比现在

我们所有的任何一种燃料都好。但是,温度当然必须确实很低——远比液态氢的温度低。这些固体需要保持在-272℃左右,仅仅比绝对零度高1度。

在另一方面,完全存在着驱动离子向后的可能性(而不是燃烧燃料的排出气体)。微小质量的单个离子将产生极小的冲量,但可持续很长时期。借助化学燃料的强烈而短寿命的力先将飞船送入轨道,然后在实质上并无摩擦力的空间介质中,飞船在离子长时期冲击的推动下,缓慢加速到近于光速的速度。研究这种离子驱动最好的物质是铯,它很容易失掉电子而形成铯离子。于是可以设置一个电场来加速铯离子并射出火箭喷口。

超导体和超流体

再回到低温界。甚至氢的液化和固化也不代表最后的胜利。到氢产生时,惰气已经发现,其中最轻的氦,在可达到的最低温度仍然顽固地坚持不液化。直到1908年,荷兰物理学家昂内斯终于征服了氦。他把杜瓦方法推进了一步,利用液态氢在压力下将氦冷却至-255℃(18K),然后让氦膨胀来进一步冷却它自身。借助此法,他液化了氦。然后再让液态氦蒸发,温度更为下降,在常压下可液化氦(4.2K)。这个温度可使**所有**其他物质都是固体。他甚至将温度降至绝对温度0.7K。昂内斯由于这项低温的研究而得到了1913年的诺贝尔物理学奖。(现在,氦的液化已是简单的事了。1947年,美国化学家柯林斯发明了**低温恒温器**,通过交替的压缩、扩散,1小时内即可制造2加仑的液态氦。)

然而,昂内斯不只是达到了新的温度深度,他还第一个指出那种低温状态下物质所存在的一些奇特性质,其中之一就是**超导性**。在1911年,昂内斯在低温下试验汞的电阻,预期对电流的阻力会平稳地减小,因为去掉热会使金属中原子的正常振动减慢。但是

在绝对温度 4.12K,汞的电阻却突然完全消失了,电流流过它没有丧失任何强度。很快地他又发现其他金属也具有超导性。例如铅在绝对温度 7.22K 变成为超导体。在液氦的温度下,几百安培的电流绕着铅圈流动,这样经过了两年半时间,没有可察觉的减少量。

当使温度愈来愈低时,更多的金属加入超导名单,锡在绝对温度 3.7K 变成超导;铝在绝对温度 1.2K;铀在绝对温度 0.8K;钛在绝对温度 0.53K;铪在绝对温度 0.35K。

(目前所知大约有 1400 种不同的元素或合金可呈现超导性。但铁、镍、铜、金、钠和钾必定有更低的转变点——如果能使它们成为超导——因为在达到最低温度时它们不曾转换到这种状态。发现金属元素中锝的转变点最高,它在绝对温度 11.2K 下变为超导。)

低沸点的液体能够使浸在其中的物质保持在它的沸点温度。要达到更低的温度,则必须借助更低沸点的液体。液态氢在绝对温度 20.4K 沸腾。只有在寻找至少有这样高的转变点的超导物质时,它才是最有用的。于是超导性只能在液态氢冷却的系统中研究;若没有液态氢,只有一种更低沸点的液体——液态氦,更稀少,更贵,更难掌握,但必须使用。少数合金,特别是那些含有金属铌的合金,其转变温度比任何一种纯金属都要高。终于在 1968 年发现了铌、铝、锗的合金,它在绝对温度 21K 时可保持超导,这使在液态氢温度下的超导性成为可能——不过勉强刚够。

提及超导性的有效应用,立即会联想到与磁性有关。电流通过绕线圈的铁心,可以产生强磁场;电流愈大,磁场愈强。可惜,在通常条件下,电流愈大,所产生的热愈多,因此对可以做的事情有一限制。然而用超导体线圈,电流通过不产生热量。似乎越来越多的电流都可以塞入线圈,以产生从未有过的强**电磁铁**,而所消耗

的功率却只有正常条件下的一小部分,但是这里仍大有文章。

伴随超导性产生的其他性质包括磁性。在物质变成超导的同时,它也会变成完全的**反磁性**,也就是说它会排斥磁力线。这个现象是德国物理学家迈斯纳在1933年首先发现的,因此称为**迈斯纳效应**。通过制造够强的磁场,即使此时温度远低于它的转变点,还是会破坏物质的超导性,而超磁性的希望也就随之破灭了。正如一旦物质周围的磁力线聚集很多时,最终有一些磁力线会穿透物质,而超导体亦会发生相同现象。

人们已着手寻找承受高磁场的超导物质。例如具有高达绝对温度18K的锡-铌合金。它可以承受大约250000高斯的磁场,这个强度确实是高的。在1954年发现这一事实,但是到1960年才研究出制造这种通常脆性合金电线的技术。钒和镓的化合物可以做得更好,已建成场强达500000高斯的超导电磁铁。

在氦中发现了另一种令人吃惊的低温下的现象,称为**超流性**。

氦是目前人们知道的即使在绝对零度也不能被冻结成固体的惟一物质,有少量不能减少的内能,甚至在绝对零度,它也不可能消除(所以实际上该内能是零点能),但却足够使这些极其“不粘”的氦原子互相保持自由,因此呈现为液体。事实上,德国物理学家能斯脱在1905年已指出,在绝对零度下,并非物质的能量变为零,而是另一相关性质:**熵**为零。由于这项工作,能斯脱得到了1920年的诺贝尔化学奖。然而我并不是说在任何情况下固态氦都不存在。1926年,固态氦终于在低于绝对温度1K和大约25个大气压下制成了。

1935年W.H.凯索姆设法完成了氦的固化,而他在昂内斯实验室工作的姐姐A.P.凯索姆则发现液态氦低于绝对温度2.2K时,几乎完全导热。它导热非常快——事实上,相当于声速——致使氦的所有部分总是在相同的温度。它不会沸腾——其他一般液

体因为有局部的热点会形成蒸气泡——因为在液氦中没有局部热点(如果液体在绝对温度 2K 下可以说热点的话)。当液氦蒸发时,它的顶层平静地逃逸——可以说是一层一层蒸发掉的。

俄国物理学家卡皮察继续研究这个性质,发现氦导热的原因是它非常容易流动,而且几乎是同时把热量由一部分带到另一部分,其速度至少是第二最佳热导体铜的 200 倍。液氦甚至比气体还容易流动,粘度仅为氢气的 1/1 000,且可流经气体无法通过的微小孔隙。另外,该超流液体在玻璃上形成薄膜,并且在其上的流动速度与它流经孔洞的速度一样快。如果装有这种液体的开口容器置于所装液体高度较低的大容器中,超流体将越过玻璃边缘而到达外面的容器,直到液体高度一样为止。

氦是惟一显示出超流现象的物质。事实上,超流体的性质与高于绝对温度 2.2K 的氦本身的性质大不相同,所以另外取了一个名字叫**氦-Ⅱ**,以区别于高于绝对温度 2.2K 叫做**氦-Ⅰ**的液氦。

因为只有氦才能允许从事接近绝对零度的研究,所以,它在纯科学和应用科学中变得非常重要。大气的供给量是可忽略的,最重要的来源是天然气,由地壳中铀和钍衰变所形成的氦有时会渗入天然气井。目前所知蕴藏量最富的天然气井在墨西哥,其产生的气体中有 7.5% 为氦。

低温学

由于受到绝对零度附近奇异现象的鼓舞,物理学家们想尽办法来接近绝对零度,并且扩展它们在今天称为**低温学**的有关知识。在特殊情况下,利用液态氦的挥发,可产生绝对温度 0.5K 的低温。(顺便说一下,在这种水平上的温度可以利用一些特殊的有关电的方法来测量——譬如利用热电偶所生电流的大小,利用某种非超导体金属所制成电线的电阻大小,利用磁性的改变,甚至可利

用声音在氦中传递的速度。想要测量极低温比要得到它们还不容易。)事实上,低于0.5K的温度利用1925年荷兰物理学家德拜首先提出的方法已经测到。把顺磁物质(即能将磁力线集中起来的物质)几乎紧靠着液态氦,中间隔着氦气,然后把整个系统温度降到绝对温度大约1K。再把系统置于磁场中,顺磁物质的分子会平行排列,并放出热量。这一热量可由周围缓慢蒸发的氦气移去。这时若把磁场移走,顺磁性分子会马上呈现混乱取向。由有序到混乱取向过程中,分子必须吸收热量,而这惟一的热源就是液态氦。因此,液态氦的温度下降。

可以一次又一次地重复该过程,每次都降低液氦温度——此技术是由美国化学家吉奥克完成的。结果他得到了1949年诺贝尔化学奖,1957年以这种方法达到了绝对温度0.000 02K。

1962年,德国血统的英国物理学家伦敦和他的合作者提出使用一种新装置达到更低温度的可能性。氦以两种类型存在:**氦**-4及**氦**-3,平常它们完全混合在一起。但是当温度低于绝对温度0.8K时,就会分开,氦-3在上层,部分的氦-3与氦-4在底层。以类似一般冷冻剂例如氟里昂的液体和蒸气互相变换的方式,能逐步降低温度。利用该原理制成的冷冻装置,于1965年在苏联首先被设计出来。

1950年,苏联物理学家波马伦库克提出了利用氦-3其他的性质深冷的方法;早在1934年,匈牙利血统的英国物理学家库提也提出过利用类似吉奥克所利用的磁性,但这种磁性与原子核——原子的量内层结构——有关,而不与整个原子和分子有关。

应用了这些新技术的结果,温度低到绝对温度0.000 001K。既然物理学家们发现他们已经达到绝对温度0.000 001K,难道就不能摆脱剩下的一点熵而最后达到目标本身吗?

不能!正如能斯脱在他关于这一问题而获得诺贝尔奖的论文

中所证明的那样(有时也称为**热力学第三定律**),绝对零度是不可能达到的。无论我们如何降低温度,也只能将部分的熵移去。在一般情况下,无论熵的总量如何,若欲移去一个体系中一半的熵,其困难程度相同。从绝对温度 300K(大约为室温)降至 150K(比南极所能达到的温度还低),与从绝对温度 20K 降至 10K,其难度是一样的。从绝对温度 10K 降至绝对温度 5K 或 5K 降至 2.5K 等等亦然。现在已达到高于绝对零度百万分之一的低温,但若想从百万分之一度降至其一半的温度,就像从绝对温 300K 降至 150K 一样困难。如果达到了,要从其百万分之一的一半温度再降到百万分之一的四分之一,仍然同样地困难。这样继续下去无论怎样似乎接近,但绝对温度还是处在无穷远的距离。

用该方式探求绝对零度的最后阶段,导致对极稀有物质氦-3 的仔细研究。氦本身在地球上并不常见;而且当它被分离出来时,每 1 000 万个原子中只有 13 个是氦-3,其余全是氦-4。

氦-3 比氦-4 原子稍微简单,且只有最常见变体质量的3/4。氦-3 的液化点在绝对温度 3.2K,比氦-4 整整低了 1 度。更有甚者,起初认为氦-4 在低于绝对温度 2.2K 可变为超流体,而氦-3 (虽然简单,但却是较少对称的分子)没有一点迹象。它是惟一需要继续试验的。在 1972 年,发现低于绝对温度 0.002 5K 时,氦-3 会变成超流体氦-Ⅱ。

高压

液化气体的工作开创了一个新的科学领域,更引起了大家对于产生高压的兴趣。似乎把很多种类的物质(不仅气体)放在巨大压力下,都可以显示出物体性质的基本信息,同时也显示出地球内部的基本信息。例如,在地表下 11 公里(7 英里)深处,压力是 1 000 大气压;644 公里(400 英里)深处是 20 万大气压;而在 3 200

公里(2 000 英里)深处,则 140 万大气压;到 6 400 公里(4 000 英里)深的地心,就高达 350 万大气压。(当然,地球是较小的行星。土星的中心压力,估计高于 5 000 万大气压;至于更大的木星,则高达 1 亿大气压。)

在 19 世纪的实验室里顶多能做到 3 000 大气压左右,这是 19 世纪 80 年代由阿玛加特达到的。但是在 1905 年,美国物理学家布里奇曼开始设计新的方法,立即达到 2 万大气压,把实验用的小金属室给炸裂了。他采用更坚固的材料,终于成功地产生了 50 万大气压。由于在高压方面的工作,他获得了 1946 年的诺贝尔物理学奖。

在他的超高压力下,布里奇曼曾迫使物质的原子和分子更紧密地排列,这种排列有时在除掉压力后,仍可被保留下来。例如,他把普通非导电体的黄磷,变成了可导电的黑磷,甚至还使水产生惊人的变化。普通冰比水的密度要低,利用高压,布里奇曼制造出一系列的冰(冰-Ⅱ、冰-Ⅲ等等),它们的密度不仅比液体水还高,而且温度也比正常水的冰点高。冰 Ⅶ在温度高于水的沸点时是固体。

所有高压技术中最引人注目的就是**金刚石**。它是一种结晶碳,就像石墨也是一种结晶碳一样。当一个元素以两种不同的形式出现时,称为**同素异形体**,金刚石和石墨是该现象最引人注目的例子。臭氧和普通氧是另一个例子。在前段曾经提到过的黄磷和黑磷(还有红磷)也是一例。

同素异形体在外观、性质上似乎可以完全不同。大概,除了煤和金刚石以外,再没有比石墨与金刚石更令人震惊的例子了。(在化学上来说,无烟煤是一种含水分多的石墨型式)。

金刚石只不过是石墨(或煤)以不同的原子排列方式形成的,乍看之下,这个观点似乎令人难以置信,但是金刚石的化学本质早

在 1772 年就由拉瓦锡及其他一些法国化学家证实了。他们合资买了金刚石,然后把它加高温燃烧,发现所产生的气体是二氧化碳。后来,英国化学家坦南特证明,所测得的二氧化碳总量,只有在金刚石为纯碳时才有可能产生。这点和石墨是一样的;在 1799 年,法国化学家莫尔弗把金刚石变成一堆石墨,证明这种说法是正确的。

莫尔弗所做的不是一件合算的事,但是为什么事情不能反过来呢?金刚石密度比石墨高了 55%。为什么不能对石墨加压,使它形成较密堆积的金刚石呢?

经过多方的努力,像炼金术上那样,许多实验者都报告取得了成功。最有名的就是法国化学家穆瓦桑。在 1893 年,他把石墨溶于熔融的铸铁中,并报导说,冷却后在里面发现了些小金刚石。其中大部分的物质是呈黑色而又不纯的微小东西,但是有一颗却是无色的而且几乎有 1 厘米长。该结果广为大家所接受,而且在很长一段时间里,穆瓦桑甚至被认为已制造出了人造金刚石。然而,他的结果从来没有人成功地重复过。

在合成金刚石的研究方面不是没有意外收获的。1891 年,美国发明家艾奇孙在他认为可制成金刚石的情况下加热石墨,偶然发现了碳化硅,他给它的商品名为金刚砂。经证明,除了金刚石外,它比当时所知的任何物质都硬。这种物质已成为一种广泛使用的**研磨剂**,即作为磨碎、磨光之用的物质。

研磨剂的效率取决于它的硬度。研磨剂可以抛光或磨蚀比它较软的物质,而作为最硬的一种物质的金刚石,它在这方面可说是相当有用的。各种物质的硬度通常以**莫氏硬度**来量度。这个硬标是由德国矿物学家莫斯在 1818 年提出的。它按矿物编号,定滑石为 1,而金刚石为 10。具有某一标号的矿物能够在标号比它小的任何一种矿物上划出刻痕。在莫氏硬度上,金刚砂给以标号 9。

但刻度间隔并不相等。在绝对尺度上,标号10(金刚石)与标号9(金刚砂)的差比标号9(金刚砂)和标号1(滑石)硬度差大4倍。

对所有这些原因是不难看出的,在石墨中,碳原子以层状排列。在每一单层中碳原子都是以棋盘格六角形排列,像浴室里贴在地板上的瓷砖。每个碳原子以相同的方式与其他三个碳键连;因碳属于小原子,所以与近邻键连坚固而紧密。这种棋盘形状的布置很难拉断,但很薄易断开。这种棋盘形状布置,上层和下层的距离较大,所以层与层之间的键连较弱,一层能够容易地在下一层上滑动。由于这一原因,石墨不仅不特别硬,而且实际上可以用作润滑剂。

然而金刚石中碳原子却全部都是绝对三维的对称排列。每个碳原子与四个等距离的其他原子键连,四个碳的每一个都处在中心为一个碳原子的四面体的顶点上,这是非常紧凑的排列,所以金刚石实质上比石墨紧密。除在不可抗拒的力之下以外,在任何方向也不会被拉断。其他原子也会采取**金刚石结构**,但其中以碳原子最小,键连最紧。因此,金刚石比地表上的任何其他物质都硬。

碳化硅中有一半的碳原子被硅取代。因为硅原子比碳原子大得多,不能把近邻的原子拉得那么紧,因此键连就比较弱。这样,碳化硅不像金刚石那么硬(虽然对很多用途,它已经算足够硬了)。

在地表的环境下,碳原子的石墨比金刚石排列更稳定。因此,金刚石有自发转变成石墨的趋势。然而,你没有某早上醒来发现灿烂夺目的金刚石戒指隔夜变成毫无价值的石黑的危险,即使在不稳定的碳原子排列中,仍然连接得如此紧密以致可能需要几百万年才会发生变化。

这种稳定性的不同,使石墨变成金刚石更加困难。直到20世纪30年代,化学家才经过努力达到把石墨变成金刚石需要的压力,至少需要1万大气压以上才可出现转变,甚至有此高压,它的

转变仍极其缓慢，不能实现。升高温度虽会加速转变，但也提高了压力的需求。在1500℃，至少需要3万大气压。所有这些都证实穆瓦桑和他的同代人在他们所使用的条件下制造出金刚石的可能性不会比炼金术士制造出黄金的可能性大。（有某种证据说明，事实上，穆瓦桑是他的一个助手的受骗者，该助手厌倦于这项冗长的实验，决定把一颗真金刚石放在铸铁混合物中，以结束这个实验。）

借助布里奇曼原先达到实验所需的高温与高压所做的工作，1955年，通用电气公司的科学家们终于完成了这项业绩。产生10万以上大气压以及高达2500℃高温，此外还有少量的金属，例如铬等，用于石墨上形成液体薄层。在该薄层上石墨转变成金刚石。在1962年，可达到20万大气压和5000℃的温度。于是石墨直接转变成金刚石，而且没有使用催化剂。

合成的金刚石用作宝石太小且不纯，但目前生产的是商业上的磨料和切削工具等，合成金刚石确实是这类产品的主要来源。到60年代末，偶然生成少量具有宝石等级的小金刚石。

使用这些方法所制成的一些较新的产品，可以弥补金刚石的消耗。硼与氮的化合物（氮化硼），在性质上非常类似石墨（只不过氮化硼是白色的而不是黑色的）。经受把石墨转变成金刚石的这种高温和高压后，氮化硼会发生类似的转变。氮化硼的原子可以从类似石墨的结晶排列转变成类似金刚石的排列。它的新形式称为**金刚石型氮化硼**。其硬度约为金刚砂的4倍。此外，主要的优点是更抗热。在900℃左右可将金刚石烧掉，但氮化硼却不变化。

硼比碳少1个电子；氮又比碳多1个电子，两者相互组合，会形成一种很类似碳-碳排列的情形，但离金刚石完美的对称性尚有一段微小的差距；因此，金刚石型氮化硼不完全像金刚石那么坚硬。

当然，布里奇曼关于高压的工作不是最后的定论。20世纪80

年代开始，卡内基技术学院的P.M.贝尔利用一种在两块金刚石间塞入物质的装置，已设法达到大约150万大气压，超过了地心压力的2/5。他相信这套仪器在金刚石崩溃以前，或许可以达到1 700万大气压。

加利福亚理工学院利用冲击波制造出的瞬间压力，大约高达7 500万大气压。

金　属

在周期表中大部分元素都是金属。事实上，102种元素中，只有大约20种可明确地看成非金属。然而，在人类历史上，金属的使用却比较迟。其中一个原因是除了少数金属外，金属在自然界都与其他元素结合成化合物，而且不容易辨认与提取。原始人起初只使用那些经过简单加工，如刻、削、砍和磨，就能使用的材料。这样他们的材料只限于兽骨、石块和木头。

最初，人们可能是通过发现陨石、小块黄金或含有铜矿的石头在燃烧后的灰烬中留下的金属铜，才认识了金属。无论是哪一种情况，好奇(或幸运)的人们发现这些陌生的新物质，研究使用它们的方法，发现它们有许多优点。金属不同于岩石，当磨光时，它有吸引人的光泽。它可打成薄片和拉成丝，还可以被熔化，灌入模子中凝固。它比岩石漂亮多了，可塑性较强，适于作装饰品。很可能远在金属得到其他应用以前它们就已经被用来铸成装饰品了。

因为金属稀有而且吸引人，又不会随着时间而改变，所以这些金属在它们变成公认的交换媒介之前就已被当作珍贵的东西以物易物了。起初一块块的金属(金、银或铜)在买卖交易上，必须分开称重。但到了公元前700年，在小亚细亚的赖狄亚王国和爱琴海上的厄吉那岛，发行了一种铸有官方政府标记且具标准重量的金

属，这就是沿用至今的硬币。

发现有些金属可做成比石头更锐利的切削工具，即使用来砍毁石斧砍不动的东西仍能保持锋刃后，金属才站住了脚。此外，金属很坚韧，即使用力打击，木棍或石斧破裂了，类似大小的金属物体却只稍微变形。这些优点，大大补偿了金属比石头重且较难得到的缺点。

较大量得到的第一种金属是铜，这种金属在公元前 4000 年就已被使用了。铜本身制成的武器或铠甲太软(尽管它能制成美丽的装饰)，但发现它通常与少量砷或锑形成的合金却比纯金属还硬。在铜矿样品中，已发现含有锡。铜-锡合金(**青铜**)对做武器是足够硬的。人们很快就学会有意地往铜里加锡。大约公元前 3000 年在埃及与西亚，和公元前 2000 年的东南欧，青铜时代取代了石器时代。荷马史诗中的《**伊利亚特**》和《**奥德赛**》成为这时期文化的纪念。

很早以前人们就知道铁和青铜一样，但在一段很长的时间内，陨石是它惟一的来源。直到发现了冶炼铁矿的方法可大量获得生铁后，铁才不再是一种贵重的金属。困难在于怎样处理足够热的炉火，怎样用适当的方法把碳加入铁中，以及怎样使它变得更坚硬成为现在所谓的钢。约在公元前 1400 年，于小亚细亚的某处首先出现了熔铁技术，后来才慢慢发展传播开来。

因为用铁铸成的剑可以砍断青铜制品，所以一个以铁器武装的军队可以击溃以青铜器武装的军队。小亚细亚的赫梯族首先在某种程度上使用铁制武器，曾统治西亚较长一段时间。在公元前 800 年，亚述人才继之而起。他们有完全使用铁制武器的部队，统治西亚、埃及长达两个半世纪。大约在同时，多利安人入侵希腊，打败抱住青铜武器不放的阿凯亚人，把铁器传入欧洲。

铁和钢

铁基本上是由铁矿(通常是三氧化二铁)和碳加热而得到的。碳原子夺去三氧化二铁中的氧,而留下块状的纯铁。在古代所用的温度不足以使铁熔化,因此产品是一种坚韧而可借助锤击做成所需形状的金属——这就是**熟铁**。在中世纪才大规模炼铁。当时使用了一种专门的炉子和较高的熔化铁的温度。此熔融的铁,可灌入模子,形成铸体,又称**铸铁**。它比熟铁更便宜也更硬,但它很脆不能锤击。这两种铁需要量的增加,导致大规模森林的砍伐,例如英国就曾把它的森林消耗在炼铁炉里。1780 年,英国铁匠达比指出,**焦炭**(碳化了的煤)效果与木炭(碳化了的木材)一样好,甚至更好。在这方面减轻了对森林的压力,从而开始了长达一个多世纪的煤为主要能源的时期。

迟至 18 世纪,多亏法国物理学家列奥米尔,化学家们才认识到,原来是碳的含量支配着铁的韧度和硬度。要增强这些性质,碳的含量应该在 0.2%～1.5%之间,于是制成了钢。钢的硬度、韧度一般都比铸铁或熟铁强。但是,直到 19 世纪中期,才能借助小心增加适量的碳到熟铁(它本身比较贵)中这种繁杂的过程制造出高品质的钢。因此,钢仍然是一种奢侈的金属,只能用在不能找到代替品的地方——如剑和弹簧等。

英国工程师贝色麦引进了钢的时代。起初他对大炮和射弹很有兴趣。为了使大炮能射得更远、更准确,他发明了膛线系统。法国拿破仑三世对此也相当有兴趣,并且提供了进一步实验的经费。但是后来一位法国炮兵指出,贝色麦所构想的膛线系统会损毁当时所使用的铸铁大炮。贝色麦很懊恼,便转而研究如何生产更高强度铁的问题。他完全不懂冶金学,因此带着一种很好奇的心理来接触这个问题。由于铸铁的碳含量关系,所以是脆的。因此,问题在于如何来减低碳的含量。

为什么不能使用边熔化铁边送气的方法把碳燃烧掉呢？乍看起来，这似乎是个非常荒谬的观念。吹空气难道不会使熔融的金属冷却而凝固吗？贝色麦努力以各种方式去尝试，发现实际上完全相反。当空气使碳燃烧时，燃烧放出热量，铁的温度会上升，而不是下降。假如这样，碳就恰好烧掉了。通过适当地控制，可以制造出大量的钢，价格也较便宜。

1856年，贝色麦公布了他的鼓风炉。铁匠们都兴致盎然地采用这种方法。后来他们发现这样只能生产次等钢，就很生气地放弃了它。贝色麦发现工业用的铁矿中含有磷(而磷在他自己的矿石样品中是没有的)。虽然贝色麦向铁匠们解释是磷辜负了他们，但他们仍拒绝再次受骗。因此，贝色麦只好借钱，然后在设菲尔德建立自己的钢铁工厂。他从瑞典进口不含磷的铁矿，快速生产钢，再以低于其他铁匠的价钱出售。

1875年，英国冶金学家托马斯发现，在鼓风炉里衬以石灰石和镁氧，便可容易地把磷从熔融的铁中除去。此后，几乎任何铁矿均能用来炼钢。1868年，德国出生的英国发明家西门子研究出**平炉法**，在平炉里将生铁与铁矿一起加热，这种过程也能够控制磷的含量。

于是人类进入了钢铁时代，钢铁时代不再只是说说而已。若没有钢，摩天大楼、吊桥、大船、铁路和许多其他现代建筑物的建造几乎是不可思议的。尽管其他金属不断增加，但在许多日常用途中，从汽车车身到刀子，钢仍被认为是较好的金属。

(认为任何个别的进展都能导致人类生活方式发生巨大的改变是错误的，这种改变总是全部彼此有关的进展相互结合的结果。例如，如果没有常见的电梯装置，世界上所有的钢也不能建成实用的摩天大楼。1861年美国发明家奥蒂斯取得一种水压电梯的专利。1889年，他创办的公司在纽约商业大楼内装置了第一座电动

电梯。)

由于钢廉价又平常,因此有可能进行往钢里加入其他金属(**合金钢**)的实验,看是否还能进一步改进。英国的冶金学家哈德菲尔德首先开创了这个研究方向,他于1882年发现把锰加入钢达到13%的含量,可制成一种较硬的合金。它可以用来制造干粗活的机器,如碎石机。1900年又发现一种含钨和铬的合金,在高温下,甚至炽热时,仍保持它的硬度。这种合金成为高速机床有用的东西。现今,有无数像钼、镍、钴和钡一类金属的其他合金钢供特殊工作使用。

钢的主要困难是容易腐蚀——铁还原成原矿石状态的过程。防止该现象的方法之一是将金属涂上或镀上一层不易被腐蚀的金属——如镍、铬、镉和锡。最有效的方法是制造一种不腐蚀的合金。

1913年,英国冶金学家布里尔利意外地发现了这种合金。他本来想寻找一种适合做枪身的钢合金。在他认为不太适合而抛弃的样品中有一种镍铬合金,几个月后,他偶然发现,在这堆废料堆里,这些特殊的合金块明亮如前,而其余的都生锈了。**不锈钢**就是这样诞生的。它用在大规模的构件中太软太贵,但极适合于刃具和小工具那些防锈比硬度更重要的地方。

全世界每年大约要花上10亿美元来防止铁和钢的腐蚀,但并不太成功。因此,人们在继续不断地寻找一种普遍的防锈剂。一种值得注意的最近发现是**高锝酸盐**(含有锝的化合物),可防止铁生锈。当然,这种稀有的人造元素绝对不够用在相当大的规模上,但是它提供了非常宝贵的研究工具。它的放射性使化学家能跟踪它的结局,并观察它在铁表面上发生的情况。

铁最有用的一个性质是它的强大的铁磁性。铁本身是**软磁体**的一个实例。它在电场或磁场的感应下容易被磁化——也就是它

的磁畴(见第五章)容易排列整齐。当磁场移去时,它容易退磁,其磁畴再变成混乱的排列。这种易去磁性的性质是可以利用的,像在电磁铁中,电磁铁的铁心通电时容易被磁化,而断电时也应该容易退磁。

自从第二次世界大战以来,已经研制出一种新品种的软铁磁体,就是**铁氧体**。例如,镍铁氧体($NiFe_2O_4$)和锰铁氧体($MnFe_2O_4$),它们用作计算机中各种容易磁化和迅速退磁的元件。

硬磁体的磁畴不易排齐取向,但一旦排齐,则有磁性,而且可以保持一段长时间。各式各样的钢合金是最常见的例子。但是强的硬磁体已在含有少量铁或不含铁的合金中发现。最著名的例子是 1931 年发现的**吕臬古**(alnico),它主要是由铝、镍、钴再加一点铜制成的(英文名称取自各物质前面的两个字母)。

在 20 世纪 50 年代提出了用铁粉做成磁铁的技术。这些铁粉非常细小,以致可形成许多单个的小磁畴。可以让这些磁畴在熔融的塑料中定向,然后使塑料固化,磁畴的定向排列便保留下来。这样的**塑料磁铁**非常容易成形塑造,而且强度相当好。

新金属

在最近几十年,我们看到出现了许多有用的新金属——其中一些新金属过去曾被看作几乎是没有用的,甚至有些在一个世纪前尚未问世,有些到我们这一代才知道。最显著的例子是铝,它是所有金属中最普遍的——比铁还普遍 60%。但是从矿石中提取铝也非常困难。1825 年,奥斯特(他曾发现电和磁之间的相互关系)从矿石中分离出了少量不纯的铝。此后,许多化学家都尝试着分离纯铝,都没有成功。直到 1854 年,法国化学家圣克莱尔德维尔终于设计出可较大量获得纯铝的方法。铝的化学性质是如此活泼,他不得不使用金属钠(更加活泼)来破坏铝的邻近原子之间的

紧密键连。有一个时期,0.454 公斤(1 磅)铝卖 100 美元,实际上使铝成为一种贵重的金属。拿破仑三世沉迷于铝制的餐具,还给他的幼儿制造了一种会嘎啦响的铝制玩具;在美国,人民为了对华盛顿表示敬意,于 1885 年铸造了一座华盛顿纪念像,就是用坚固的铝平板复盖在其顶部的。

1886 年,在奥贝兰学院攻读化学的年轻学生 C.M. 霍尔,有一次被教授的谈话深深打动。教授说不管谁只要能找到一种便宜的制铝方法,必能致富。因此,他决定试试看。在他存放木柴的家庭实验室里,C.M. 霍尔开始利用戴维早期的发现,把电流通过熔融的金属可以使金属沉积在阴极板上,以此来分离金属离子。他在找一种能溶解铝的材料时,偶然发现了**冰晶石**,这种材料仅在格陵兰大量存在(今天可得到人造冰晶石)。C.M. 霍尔把氧化铝溶解在冰晶石中,再将混合物熔融,然后通过电流。果然,在阴极上得到了纯铝。C.M. 霍尔急忙带着几块他的首批金属铝锭去见他的教授。(至今,这些铝锭仍为美国铝业公司所收藏。)

碰巧,一位正好与 C.M. 霍尔同龄的法国化学家埃鲁,也在同年发现了同样的方法。(完全巧合,C.M. 霍尔和埃鲁两人都在 1914 年逝世。)虽然,**霍尔-埃鲁方法**使铝成为一种便宜的金属,但是,它仍然无法像钢一样便宜。因为有用的铝矿比有用的铁矿少,而且电(炼铝的关键)比煤(炼钢的关键)贵。然而,铝有两大优点超过钢:第一,它轻,只有钢的 1/3 重;第二,铝受到腐蚀时只在其表面形成一层薄而透明的薄膜,这层薄膜起保护作用,使深层免遭腐蚀,且不影响铝的外观。

纯铝相当软,但制成合金后就可以得到改善。1906 年,德国冶金学家威尔姆在铝中加入少许的铜与微量的**镁**,制成一种坚韧的合金,他把专利权卖给了德国的杜仑金属工厂,他们称该合金为杜拉铝。

工程师们很快就认识到这种轻而坚固的金属在飞机上的价值。第一次世界大战期间，德国人把杜拉铝用于飞机，英国人由分析飞机碎片的合金知道了它的成分，这种新金属的用途普及全世界。因为杜拉铝不像铝本身那样抗腐蚀，所以冶金学家又在它外层复盖上一层薄薄的纯铝，这种产品称为铝衣合金。

如今，有些铝合金比某些同重量的钢还坚固，凡是认为轻巧与抗腐蚀比自然强度更重要的地方，有以铝代替钢的趋势。众所皆知，目前它几乎成为一种普遍的金属了，用于飞机、火箭、铁路、火车、汽车、门、荧光屏、房屋挡板、油漆、厨房用具、铝箔、包装纸等。

现在我们已有镁，一种比铝还轻的金属。如你可预料的那样，它主要用于飞机，德国已经把镁-锌合金用于此用途了。在第一次世界大战以后，镁-铝合金的用途逐渐增加。

因镁的丰度大约只有铝的 1/4，化学活性也较活泼，较难从矿物中获得。但是很幸运，镁在海洋中有很丰富的来源。镁不像铝或铁，它大量存在于海水中。海洋可溶解占它本身重量3.5%的物质，这些溶解的物质中，有 3.7%是镁离子。因此，总的来说海洋中含有约 20 000 000 亿吨的镁，也就是说可供我们使用到无期限的未来。

问题在于如何提取。过去选用的方法是把海水抽入大水槽，再加入氧化钙(也可从海中即从牡蛎壳中取得)。氧化钙与水和镁离子反应形成氢氧化镁。氢氧化镁不溶于水而从溶液中淀沉出来。以盐酸处理氢氧化镁把它转变成氯化镁，再利用电流把氯分开，就可以得到镁金属。

1941 年 1 月，道化学公司第一次从海水中生产出镁锭，而在大战期间，镁的产量大约增加了 10 倍。

事实上，可从海中提取的任何元素都可视为无限制的供给，因在使用之后，终究还会再回到海里去。据估计，若每年从海水提取

100万吨的镁,经过1万年,海洋中镁的含量将会从原先的0.13%降至0.12%。

如果钢是19世纪中叶"令人惊奇"的金属,20世纪轮到铝,20世纪中叶轮到镁,那么下一个令人惊奇的新金属是什么新金属呢?这种可能性是有限的,在地壳中只有7种真正称得上是常见的金属。除了铁、铝、镁之外,它们是钠、钾、钙和钛。钠、钾和钙作为结构金属化学性质太活泼了(例如,它们会和水产生剧烈反应)。剩下来的就是钛了,它的丰度大约是铁的1/8。

钛具有不寻常的综合的优良品质。它大约只是钢的一半重;比等重的铝或钢坚固;它抗腐蚀,能够耐高温。由于所有这些原因,钛现在已被用于航空、船舶,而且如果能很好地利用这些性质,还可用作定向导弹。

为什么这么晚才发现钛的价值呢?理由大致与发现铝、镁相同:钛容易与其他物质反应,而它的不纯形式——与氧或氮化合——是一种不吸引人的金属,易碎,似乎没有什么用途。它的强度与其他特性只有当它经过分离而成为真正纯钛(这样的分离在真空或惰气中进行)时才显现出来。冶金工作者的努力已成功地把0.454公斤(1磅)钛的价格从1947年的3000美元降至1969年的2美元。

但是,已经不需要再去寻找新的令人惊奇的新金属了,因为我们可以把旧的金属(和某些旧的非金属)改造得比现在更"惊人"。

在O.W.霍姆斯的诗《**执事的杰作**》中,讲述了一辆精心制作的没有最薄弱之点的"单马轻便马车",这一单马马车最后突然粉碎成粉末。但这已经是100年以后的事了。

金属和非金属晶态固体的原子结构颇像单马轻便马车的情况。金属的晶体具有亚微观的裂隙和裂痕,在加压下,断裂会从这些薄弱点开始,并传遍整个晶体。如果能像执事的奇异的单马轻

便马车，使晶体没有薄弱之点，那么它将具有很高的强度。

这种没有弱点的晶体在晶体表面上确实形成像细纤维一样的东西，称为**晶须**。已发现碳晶须的抗拉强度高达217 吨/厘米^2（1 400 吨/英寸^2），是钢的抗拉强度的 15～70 倍。如果能设计出大量制造这种无缺陷的金属的方法，我们就会找到惊人强度的材料。例如 1968 年，苏联科学家制成细小的无缺陷的钨晶体，它能经受 253 吨/厘米^2（1 635 吨/英寸^2）拉力，而最好的钢只能经受 33 吨/厘米^2（213 吨/英寸^2）。即使得不到无缺陷的块状晶体，将无缺陷的纤维加入普通金属中也会使金属加固和强化。

迟至 1968 年才发现把金属结合起来的方法。具有历史意义的两种方法是**合金法和电镀法**。合金法把两种或更多的金属熔化在一起，形成一种近乎均匀的混合物；而电镀法是把一种金属牢固地粘结到另一种金属上（通常是把较贵的金属薄层镀在大体积的便宜金属表面，如此一来，该表面就好像金子般漂亮，且具有抗腐蚀性，但它的整体则像铜一样便宜）。

美国冶金学家 N.C. 库克和他的助手试图在铂表面上镀一层硅。他们使用熔融的碱性氟化物当作液体，把铂浸在液体中，来发生预期的电镀。显然发生了熔融的氟化物把最抗腐蚀的金属的薄层氧化物去掉了，而使铂表面裸露的对着硅原子。硅原子不是把它们自身结合到氧原子另一侧的表面上，而是使它们自身**进入**表面。其结果是铂的薄外层变成了合金。

N.C. 库克遵循这个新方向，发现许多物质可以用这种方式结合，在纯金属（或其他合金）上形成合金的“镀层”。库克称此方法为**电解电镀法**，并迅速地显示了它的用途。这样，在铜中加入 2%～4%的铍形成一种普通合金，会变得非常坚硬。假如铜被铍化，以少得多的比较稀有的铍为代价铍化，可以得到相同的结果。此外，钢以硼来电解电镀（**硼化**）也会硬化，而加入硅、钴和钛也可

以产生许多有用的性质。

换句话说,令人惊奇的金属若不能在自然界被发现,仍然可以由人类的智慧创造出来。

(郝润蓉　译)

第七章　粒　　子

有核的原子

1900年以前，人们已经知道原子并不是一种简单而不可分割的粒子，它至少含有J.J.汤姆孙所证实的一种亚原子粒子——电子。J.J.汤姆孙认为，电子就像葡萄干似地附着在原子的正电荷主体上。

识别粒子

人们很快就发现原子中尚有其他粒子存在。当时A.H.贝克勒耳发现了放射性，他识别出由放射性物质所放出的某些辐射是由电子组成的，另外，也发现有另外的发射物。法国的居里夫妇和英国的卢瑟福发现一种穿透力较电子流小的射线，卢瑟福称之为**α射线**，并将电子发射命名为**β射线**。后一种辐射是由各自单独飞行的电子组成的，这些飞行电子被称之为β粒子。后来发现α射线也是由粒子组成的，这些粒子我们称之为**α粒子**。α和β是希腊字母的头两个字母。

同时，法国化学家维拉德也发现了第三种形式的放射性发射，并依希腊字母的第三个字母命名为**γ射线**。γ射线很快被证实为一种类似X射线的辐射线，但γ射线波长较短。

卢瑟福由实验得知，磁场中α粒子受到的偏转远小于β粒子，

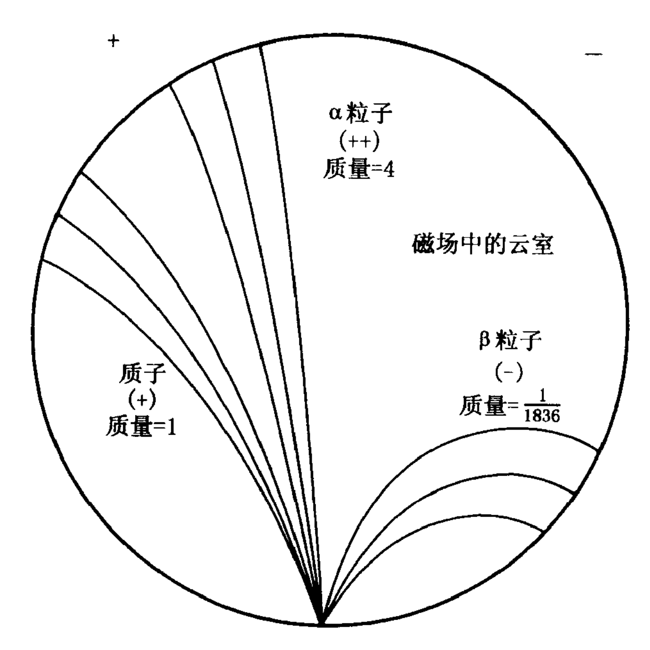


图 7－1 粒子受磁场影响的偏转情形

同时这两种粒子的偏转方向也相反；因此，α 粒子带有一个正电荷，它与电子所带的一个负电荷正好相反。从偏转量我们可以计算出 α 粒子的质量至少为氢离子的两倍，氢离子是目前所知带有最少正电荷的粒子。偏转量受粒子质量和电荷所影响，如果 α 粒子的正电荷等于氢离子的正电荷，那么质量就应该是氢离子的两倍；如果它的电荷为氢离子的两倍，那么质量就应该有氢离子的 4 倍，依此类推。

1909 年，卢瑟福以隔离 α 粒子的方法解决了这个问题。他把一些放射性材料放在一支薄壁玻璃管内，外面再加一支厚壁的玻璃管，两者中间为真空。α 粒子可以穿透内层的薄壁玻璃管，但不

能穿透外层的厚壁玻璃管。比方说,它们从外层的管壁反弹回来,在反弹中,能量损耗,不能再穿透薄壁,于是就陷在厚薄壁之间。然后,卢瑟福以放电的方法激发 α 粒子使之发光,结果呈现氦的光谱线(很明显,土壤中放射性物质所产生的 α 粒子是天然气井中氦的来源)。如果 α 粒子是氦,那么它的质量一定是氢的 4 倍,且正电量等于两个单位(以氢离子的电量为一单位)。

不久之后,卢瑟福又辨认出原子中还存有另一种正粒子。其实,这种粒子在许多年前就已被探测到,只是未被认出。1886 年,德国物理学家 E. 戈德斯坦使用具有有孔阴极的阴极射线管,发现了另一种新的辐射线,此种辐射穿过阴极的孔,方向却和阴极射线本身相反,被称为**沟道射线**。1902 年,此种辐射首次应用于探测地上光源的多普勒—斐索效应上(见第二章)。德国物理学家斯塔克安置了一种分光镜,使射线射向它而显示出紫位移。因为这项研究,他在 1919 年荣获诺贝尔物理学奖。

因为这种射线的运动方向与负电荷的阴极射线相反,所以 J.J. 汤姆孙建议将此种射线叫做**阳射线**。因为阳射线的粒子能够轻易地穿过物体,所以被认为这些粒子的体积远小于一般的离子或原子。它们在磁场的偏转量表明这些粒子中最小的粒子具有与氢离子相同的电荷与质量(假设氢离子载有最小单位的正电荷)。因此,阳射线粒子被推断为基本正粒子——电子的对等物。卢瑟福将此种粒子命名为**质子**,源自希腊文“第一”之意。

虽然质子的质量是电子的 1836 倍,但质子和电子确实载有等量的相反电荷,而原子似乎就是由质子和电子所组成,且电荷互相平衡。再者,电子能够轻易地脱离原子,而质子则不能,所以质子似乎是在原子内部。然而最大的问题是:这些粒子在原子内部所形成的结构是什么样子呢?

原子核

卢瑟福自己首先寻求答案。在 1906 年和 1908 年间,他不断地用 α 粒子轰击金属箔,例如金或铂的薄片,以探测金属的原子结构。结果射出的 α 粒子大部分直接穿过金属箔,丝毫没有偏转,就像子弹穿过树叶一般。但并非全部 α 粒子都是如此,卢瑟福发现在金属箔后面用做靶的感光板上,有一些意想不到的散射点散落在中心点四周,还有一些粒子反弹回来!就好像子弹不仅没有穿过树叶反而被坚硬物给弹回一般。

卢瑟福断定,射出的 α 粒子撞到了某种致密的核,且此核占原子体积中非常小的部分,其他大部分体积看来是被电子所占据。当 α 粒子撞击金属箔时,通常只是撞到电子,将这种轻粒子撞向一边而本身前进方向并未偏转。但是,当 α 粒子偶尔撞到原子较致密的核时就会偏转。因为当射出的 α 粒子穿过金属箔时必定会碰到数千个原子,所以,偏转现象的偶尔发生说明原子核必定是非常小的。

因此,推测坚实的核由质子所组成是非常合理的。卢瑟福将质子描绘成挤在原子中心的极小的原子核内。后来证实,原子核的直径略大于原子直径的 1/100 000。

以下就是原子的基本模型:载有正电的原子核,仅占原子体积的极小部分,却几乎包含了原子的全部质量,它的四周被电子所包围,电子几乎占据了原子的全部体积,可是几乎不包含原子的多少质量。由于在物质基本性质方面卓越的开创性的工作,卢瑟福于 1908 年获得了诺贝尔化学奖。

现在可以用更明确的术语来描述具体的原子及其行为。例如,氢原子只拥有单一的电子,如果将这个惟一的电子移走,剩下来的质子马上就会附着到某个邻近的分子上去。但是当这赤裸的氢原子核无法如上所述地找到一个电子与之共享时,它就像一个

质子——也就是说一个亚原子粒子——那样起作用。在这种形式下，它可以穿透物质，并且如果能量足够的话，也可与其他原子核反应。

氦拥有两个电子，要放弃一个并不容易。正如我在前章中所说的，它的两个电子形成一封闭的壳层，因此此原子是惰性的。如果氦将两个电子都失掉，它就变成了一个 α 粒子——也就是说，一个拥有两个单位正电荷的亚原子粒子。

第三个元素锂，在它的原子内有三个电子，移去其中的一个或两个，它就成了离子。如果三个全部被移走，那么它也成为一赤裸的原子核，此原子核带三个单位正电荷。

因为原子整体而言是中性的，所以原子核所拥有的单位正电荷数正好等于原子在正常状态下所拥有的电子数。事实上，元素的原子序数就是以原子的单位正电荷数建立起来的，而不是依据负电荷数。这是因为原子的电子数在离子的形成过程中很容易改变，而要改变原子的质子数却非常困难。

这个原子结构的模型刚一完成，新的难题便产生了。除了氢原子外，单位正电荷数并不能平衡核的质量。例如氦原子核有两个正电荷，却拥有氢原子核的 4 倍质量，此问题愈往元素周期表后面愈严重。当到铀元素时，它拥有 238 个质子，却只有 92 个正电荷。

一个包含 4 个质子的原子核（就拿氦的粒子来说），怎么会只有两个单位的正电荷呢？最初，也是最简单的猜测，认为原子核内的两个单位正电荷被重量可忽略不计的带负电荷的粒子所中和。自然，首先想到的是电子，如果我们假设氦原子核是由 4 个质子和 2 个中和正电荷用的电子所构成，最后留下 2 个净单位正电荷，那么这个迷惑就可以解决了。依此类推，铀原子核内有 238 个质子和 146 个电子，净正电荷量为 92 单位。这整个构想在放射性核发

射电子(即β粒子)的事实下,更加受到人们的支持。

这个观点流行了10多年,直到另一个更好的答案间接由其他研究得到后才被推翻。然而在这个观点流行期间,对此假说就提出了坚决反对的意见。例如,其中之一认为,假如原子核真的是由质子和对质量毫无影响的电子所组成,那么为什么不同原子核间的相对质量不成整数呢?根据已测出的原子量,氯原子核的质量是氢原子核的35.5倍,难道氯原子核含有了35.5个质子吗?从来没有一个科学家能够接受半个质子的观点。

事实上,这个特殊问题在主要争论解决之前早已有了答案,这本身就是个有趣的故事。

同 位 素

均匀的构造块

早在1816年,英国物理学家蒲劳脱认为,所有的原子都是由氢原子构成的。然而随着时间的推移及原子量的测定,蒲劳脱的理论就被搁置,因为人们发现许多元素的原子不是整数(取氧的原子量16作为标准),氯的原子量为35.453。其他的例子如锑为121.757、钡为137.34、硼为10.811、镉为112.40。

19世纪末及20世纪初出现了许多令人迷惑的观察结果,用来解释原子量为什么不是整数的问题。英国科学家克鲁克斯(即发明克鲁克斯管的那个人)从铀中分离出数量很小的一种物质,且证实远较铀本身更具有放射性。他认为铀本身不具有放射性——只有他称之为铀X的这种杂质才有。在另一方面,贝克勒耳发现,纯化的放射性微弱的铀莫明其妙地随着时间的推移而增加其放射性。将它放置一会儿后,活性的铀X就能一次又一次地从中提取出来,也就是说,铀能够通过本身的放射性转变成更具活性的

铀 X。

卢瑟福同样的也从钍中分离出一种强放射性的钍 X,并且发现钍也不断地产生出更多的钍 X。最负盛名的放射性元素镭衰变成放射性气体氡的事实早为人知。所以卢瑟福和他的助手化学家索迪得出以下的结论:放射性原子在放出粒子的过程中,本身都会转变成他种放射性原子。

化学家开始找寻这类的转变,得到了多种新的物质,分别命名为**镭 A**、**镭 B**、**新钍-Ⅰ**、**新钍 Ⅱ**和**锕 C**……等等。这些物质依原子祖系组成三个系列:第一个系列是由铀衰变所产生的;第二个是钍衰变所产生的;第三个则是由锕衰变所产生的(后来证实锕的前身是钋)。这三个系列合计共有 40 个成员,都有各自特殊的辐射形式,但是这三个系列的最后产物都一样:每一个系列的物质链最后均衰变成相同的稳定物质——铅。

很明显,这 40 种物质并非是各不相干的化学元素。在周期表中,铀-92 和铅-82 之间只有 10 个位置,其中除了有两个未知之外,其他皆是已知的元素。化学家发现,虽然这些物质的放射性不同,但事实上,其中部分物质的化学性质却完全相同。例如,早在 1907 年,美国化学家麦科伊及 W.H. 罗斯证实**放射性钍**——钍的衰变产物之一,所表现的化学性能和钍完全一样,而镭 D 的化学性能也和铅一模一样,事实上,镭 D 即通称的**放射性铅**。这些说明,我们所讨论的物质实际上都是某种元素的不同形式,例如,放射性钍是钍的一种形式,放射性铅则是铅族中的一员等等。

1913 年,索迪将这种想法做了清楚的描述,并进一步发展了这一想法。他证明当 1 个原子放出 1 个 α 粒子时,会转变成周期表中位于其前两个位置的元素,若放出 1 个 β 粒子,则转变成后一位置的元素。在这基础下,放射性钍的确应放在周期表中钍的位置。被称为**铀 X_1** 和**铀 Y** 的物质也是如此:这三种物质是第 90 号

元素的变种。同样,镭D、镭B、钍B和锕B亦是第82号元素的变种,在周期表中共占铅的位置。

索迪将周期表中占同一位置的家族的成员,命名为**同位素**(源自希腊文"相同位置"之意)。他在1921年得到诺贝尔化学奖。

原子核的质子-电子模型(最后证明是错的)能够完美地适合索迪的同位素理论。从核中移去1个α粒子将减少核中的2个正电荷——所以从周期表中移前两个位置是必要的。另一方面,从核中放出1个电子(即β粒子),将留下1个额外的未中和质子,于是核的正电荷增加1个单位,结果使原子序数加1,所以此元素在周期表中的位置移右1位。

钍是如何经过三次衰变(并非一次)而形成放射性钍的呢?再者,生成物依然是钍吗?在整个过程中,钍原子失掉1个α粒子、1个β粒子,最后再失掉第二个β粒子。如果我们承认质子构造块说,钍原子总共失掉4个电子(两个假设在α粒子中)和4个质子(实际情形和现在所述并不相同,但并不影响结果);钍原子核开始时有232个质子及142个电子(假设)。失去4个电子及4个质子后,只剩下228个质子及138个电子。前述的任一个情形中,未平衡的质子数——232减142,或228减138——都是90,原子序数依然和以前一样。所以放射性钍像钍一样有90个电子环绕在原子核周围。因为原子的化学性质受行星式电子数所控制,所以钍及放射性钍的化学性能除了原子量(232对228)之外完全相同。

元素的同位素是以原子量或**质量数**来区别的,因此,一般的钍叫做钍-232,而放射性钍叫做**钍-228**。同样地,铅的放射性同位素族有**铅-210**(镭D)、**铅-214**(镭B)、**铅-212**(钍B)及**铅-211**(锕B)等等。

同位素的观念也能应用在稳定的元素上,就像放射性物质一样。例如前文说过的三个放射性系列以铅的三种不同形式结束放

射过程：铀系以铅-206结束，钍系以铅-208结束，而锕系则以铅-207结束。每一种都是铅的“正常的”稳定同位素，但是这三种铅的原子量各不相同。

稳定同位素的存在是J.J.汤姆孙的助手阿斯顿所发明的一套设备证实的。此设备利用同位素离子对磁场偏转的差异，非常灵敏地将各种同位素分离，阿斯顿称之为**质谱仪**。1919年，汤姆孙利用这种仪器的早期机型，证明氖是由两种不同的原子所组成：一种质量数为20，另一种则为22。氖-20是一般的同位素，氖-22则是以1/10的比例混杂在氖-20中(后来第三种同位素氖-21也被发现，含量约是大气中氖的1/400)。

现在，无论如何元素原子量不为整数的原因已经清楚了。氖原子量20.183，代表自然中氖的3种同位素的混合质量。每种原子各有1个整数的质量数，但是平均质量数——原子量——就含有小数了。

阿斯顿继续证实了一些平常稳定的元素确实是同位素的混合物。他发现氯(原子量35.453)是由氯-35及氯-37以3比1的**丰度比**组成的。阿斯顿于1922年获得诺贝尔化学奖。

在颁奖典礼的演讲中，阿斯顿明确地预报了运用原子核内所蕴藏的能量的可能性，并且预见了核能发电厂及原子弹的存在(见第十章)。1935年，加拿大血统的美国物理学家登普斯特运用阿斯顿的设备进行研究，沿这一方向迈进了一大步。他证实，1000个铀原子中有993个铀-238，其余的7个是铀-235，这个重要的发现很快就为人所了解。

因此，经过1个世纪的错误探索后，蒲劳脱的观点终被证实为正确的。元素确实是由结构均匀的构造块所建立起来的——如果不是由氢原子所建立的，至少也是由具有氢原子质量的单位所构成。过去元素的重量不能证明这一点的原因是因为元素是由含不

同数目构造块的同位素所组成的。事实上,即使是用做测量元素相对重量标准的原子量为16的氧,也并不是完全的纯物质。在一般氧-16的每10000个原子当中,有20个原子量为18个单位的同位素及4个原子量为17个单位的同位素。

事实上,有一些元素是由**单一的同位素**所构成的(这个名称用的不当,我们说一种元素仅有一种同位素,就好像说一位妇人生了“单一双胞胎”一样)。这类元素包括:铍,所有原子的质量数均是9;氟,仅由氟-19所构成;铝,仅有铝-27等等。具有特殊结构的原子核称做**核素**,这一名称是美国化学家科曼1947年提出的。我们可以正确地说:像铝一样的元素是由单一核素构成的。

示踪粒子

自从卢瑟福证实了第一个核粒子的存在(即α粒子)后,物理学家们便埋头于探索原子核,试图将一种原子变成另一种原子,或者将它分解以便观察其结构组成。起初他们只有α粒子可供使用,而卢瑟福则对它加以充分地利用。

卢瑟福及其助手所做的许多有效实验中,有一个是将α粒子发射到涂有硫化锌的屏上。每一次撞击都产生一极小的闪烁(这是克鲁克斯于1903年首先发现的效应)。因此,当每一粒子到达时,都能观测到,而且可以用肉眼数之。在进行这项技术时,实验者放置一金属盘阻止α粒子到达屏上,则闪烁就会停止。当我们用此种装置以氢做实验时,屏上仍出现闪烁,不受金属盘的影响。再者,这些新的闪烁外表上与原先由α粒子所产生的不同。既然金属盘会阻止α粒子,那么必有一些其他辐射穿透金属盘到达屏上。一般认为,此辐射必定是由快速质子所构成。换言之,α粒子笔直地撞击氢原子核(记着,核内只有1个质子),并且使之倾侧向前,就好像一个台球一样,当撞击另一球时,可将另一球撞向前。

这个受撞的质子,相对地非常轻,以高速向前射出,因此能穿过金属盘,撞上涂有硫化锌的屏。

由闪烁探测单个粒子的存在,是**闪烁计数器**的一个例子。在做这样的计数时,卢瑟福及其助手首先必须在黑暗中坐等 15 分钟,使眼睛能够适应黑暗,然后再做费力的计数。现代的闪烁计数器不靠人的眼睛和记忆,将闪烁转换成电脉冲,用电子计数,最后的结果只需从面板上读取即可。

闪烁数很多时,此种记数法更为适用,可以利用电路的设计使其以 2 比 1 或 4 比 1(或更大的比例)记录下来。这种**定标器**(就是按比率减少计数的次数),是 1931 年英国物理学家温-威廉斯首先设计的。自第二次世界大战以来,有机物已取代了硫化锌,并且已经证实效果更佳。

卢瑟福原先的闪烁实验,有一意想不到的发展。当他以氮取代氢做为 α 粒子轰击的靶时,硫化锌屏依然有闪烁出现,就像质子所产生的一模一样,卢瑟福只能下这样的结论:α 粒子的轰击将氮原子核内的质子撞了出来。

为了找寻上述现象的原因,卢瑟福转而采用**威尔孙云室**,这套设备是苏格兰物理学家威尔孙于 1895 年所发明的。这是一个装有活塞的玻璃容器,里面充有湿度饱和的空气。当活塞往外拉时,空气因急剧膨胀而冷却。在这种低温下,空气中的水蒸气呈过饱和的状态,此时任何带电粒子都会使水蒸气凝结其上。如果一粒子从云室中穿过,使其原子电离,则一串雾状的液滴将显示出粒子的径迹。

径迹的性质使我们对粒子有更多的了解。质量轻的 β 粒子留下一模糊而摇摆不定的径迹,此粒子即使是通过电子附近也会因电子的排斥而摇摆。质量庞大的 α 粒子则产生一笔直而粗的径迹,如果 α 粒子撞到了原子核而反弹回去,径迹会明显地弯曲。如

果 α 粒子获得两个电子变成中性氦原子，径迹即消失。除了利用云室内粒子径迹的大小及特性来判断粒子的种类之外，尚有其他的方法可判断。粒子对外加磁场的反应可以分辨出粒子是带正电或负电，径迹弯曲的幅度亦可说明粒子的质量及能量。现今的物理学家对各类径迹照片都非常熟悉，看到照片就好像看到文字说明一样的清楚。威尔孙因为发明云室而得到 1927 年的诺贝尔物理学奖。

云室自发明以来，已多次改进，而且许多“姊妹”设备也已发明。原始的云室在膨胀后必须重新调整方可使用。1939 年，朗斯多夫在美国发明了一种**扩散云室**。在扩散云室中，热的酒精蒸汽会扩散到一较冷的区域，如此即能经常保持一过饱和的区域，因而可以连续地观察粒子的径迹。

随后又有一种原理相似的设备——**气泡室**出现。在这种设备中，使用受压的过热液体而不使用过饱和气体。带电粒子的径迹是以液体中的一连串蒸汽气泡，而不是以蒸汽中的一连串液滴来显示的。这是由美国物理学家格拉泽所发明的。人们推测他是在 1953 年通过研究一杯啤酒而得到这一想法的，如果真是这样，对他及对物理界而言，这真是一杯幸运的啤酒。格拉泽由于发明了气泡室而于 1960 年获得诺贝尔物理学奖。

最早的气泡室直径只有几厘米，在发明后的 10 年间，一般使用的直径长 1.83 米。气泡室如同扩散云室一样能够连续地操作，除此之外，因为在一定的容量中液体中的原子比气体中的多，所以气泡室可产生较多的离子。因此，气泡室较适合于研究快速及短寿命的粒子。在它发明的 10 年中，气泡室每星期可制造数十万张的照片。超短寿命的粒子是在 20 世纪 60 年代被发现的，若无气泡室，很可能就无法探测到它们了。

由于单一质子的氢原子核是如此简单，可以使复杂性降至最

低,所以液态氢是充填气泡室的一种最佳液体。1973年,在伊利诺州的惠顿建立了一直径为4.57米并含有7300加仑液态氢的气泡室。有些气泡室则用液态氦。

虽然和云室相比,气泡室对短寿命的粒子更灵敏,但也有它的缺点。它不像云室那样可捕捉我们想要的事件作为实验重点,而必须将一切全部记录下来,然后从多不胜数的径迹中找出有意义的几条来。因此人们在寻找一种既具气泡室灵敏性又具云室选择性的探测径迹的方法。

此种需要终于由**火花室**的发明而得到满足。在火花室中,接踵而来的粒子使气体电离化,而且通过氖气(氖气中有许多交叉的金属板)放出电流,电流发出一连串可见的火花,显示出粒子通过的情形。此设备可调整到只对研究中的那些粒子起反应。第一台实用的火花室是由日本的物理学家福井三郎及宫本小太郎于1959年建立的。苏联物理学家做了进一步的改进,提高了其灵敏性及灵活性。这种火花室制造出的短流光,若持续观察,即形成一条连续的线(而不是火花室那种分离的火花)。这个改进后的装置于是被称做**流光室**,它能探测到室中发生的事件及在任何方向迅速形成的粒子,而原来的火花室在这两方面都无法做到。

元素的嬗变

暂且搁下现代在研究亚原子粒子飞行方面的发展,我们回到半世纪前,看看卢瑟福在最初的威尔孙云室中,以α粒子轰击氮原子核时,究竟发生了什么事情。α粒子会留下突然以分叉状结束的径迹——简言之,就是和氮原子核碰撞。叉状火花中,较细的一支代表打出去的质子;另一支则较短且粗,代表剩下的氮原子核的径迹,它在碰撞中反弹回来。但是我们却没有发现α粒子本身的踪迹,似乎是被氮原子核吸收了。这一推测后来由英国物理学

家布莱克特加以证实。据说他在收集8次这样的碰撞过程中拍摄了超过20000张的照片(这确是非凡的耐心、坚强的信念和顽强的毅力的一个范例)。由于此项努力以及在核物理方面的其他工作,布莱克特于1948年获得诺贝尔物理学奖。

现在可以对氮原子核的命运加以推断了。当它吸收了α粒子后,它的质量数由14增加到18,正电荷数也由7增加到9。但由于这种结合很快地会放出1个质子,因此,质量数降为17,而正电荷数降为8。现在,带有8个正电荷的元素是氧,而质量数17则属于同位素氧-17。换言之,卢瑟福于1919年已使氮嬗变成氧。这是历史上最先由人工所完成的元素嬗变。虽然炼金术士以他们的技术无法预见或重复这种方法,但他们的梦想终被实现。

正如抛射体一样,出自放射源的α粒子也有其局限性:它们几乎没有足够能量闯进重元素的原子核中,因为重元素的高正电荷对于带正电的粒子有着强烈的排斥作用。但今日原子核的壁垒已被轰破,而且能量更大的轰击将接二连三地到来。

新　粒　子

轰击原子核的事情使我们回到原子核本身的构造问题。虽然原子核结构的质子-电子理论能完满地解释同位素,却与某些事实冲突。亚原子粒子通常都有**自旋**的特性,就好像天体绕着自己的轴旋转一样。我们选取测量自旋的单位时,要使质子和电子有$+\frac{1}{2}$或$-\frac{1}{2}$的自旋。因此,若原子核内束缚偶数个电子或质子(或两者),则原子核的自旋为0或某一整数——$+1, -1, +2, -2$……等等。如果是由奇数个电子或质子(或两者)所构成的原子核,则总自旋应为**一半整数**,如$+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$, $+1\frac{1}{2}$, $-1\frac{1}{2}$, $+2\frac{1}{2}$,

$-2\frac{1}{2}$……等等。假如试将偶数个正或负的半整数相加(或混合相加),然后将奇数个的同样相加,就可知道必定会有上述的结果。

正巧,氮原子核的电荷为+7,质量为14,由质子-电子理论可知,氮的原子核必须有14个质子以符合质量,且有7个电子以中和7个正电荷,最后留下7个正电荷。在此核中的粒子总数为21,所以氮原子核的总自旋应为一个半整数,然而事实上并非如此,它是一个整数。

这种矛盾在其他的原子核中也有,似乎质子-电子理论有些行不通了。然而只要质子和电子是已知仅有的亚原子粒子,科学家们就难以找出一种替代的理论。

中子

然而,就在1930年,两位德国物理学家博特和贝克尔提出报告说,他们已经从核中释放出一种具有不寻常穿透力的神秘新辐射。他们是用α粒子轰击铍原子时放出这种辐射的。而在这年之前,博特已经设计出将两个或更多个计数器连接在一起使用的方法——**符合计数器**。这些计数器能够辨认出百万分之一秒内发生的若干核事件。因为这个成就及其他方面的努力,他于1954年得到诺贝尔物理学奖。

两年后,继博特及贝克尔的发现,又出现了法国物理学家F.约里奥-居里及I.约里奥-居里(后者是居里夫人的女儿)的发现。他们从铍中得到的新辐射去轰击石蜡——一种由碳和氢所组成的蜡状物质,而将质子从石蜡中撞击出来。

英国物理学家查德威克很快就提出,此种辐射是由粒子组成的。为了确定其大小,他利用它们去轰击硼原子,然后从新原子核质量的增加算出此种加到硼原子的粒子的质量约等于质子的质

量。然而此种粒子并不能由威尔孙云室探测出来。查德威克认为惟一的解释是这种粒子一定是不带电荷的(一未带电的粒子不能电离其他的原子,所以在云室中没有水滴凝结)。

因此,查德威克下结论说,一种全新的粒子出现了——与质子质量相当却不带电荷的粒子,也就是说,呈电中性。这种粒子存在的可能性在查德威克证实以前曾经有人提出过,并且命名为**中子**,查德威克接受了这个名字。由于发现中子,使他在1935年获得诺贝尔物理学奖。

此种新粒子马上解决了理论物理学家在原子核的质子–电子模型中的某些疑问。德国物理学家海森伯宣布:原子核是由质子和中子(而不是由质子和电子)组成的。这是一个比较令人满意的说法。因此,氮原子核可视为由7个质子及7个中子所构成,结果质量数为14,总电荷(原子序数)为+7。再者,核中的粒子数为14——一个偶数——而不是稍早认为的21(一个奇数)。因为中子就像质子一样,也有一自旋$+\frac{1}{2}$或$-\frac{1}{2}$,因此,质子数及中子数的和为一偶数,使氮原子核的自旋等于一整数,并且符合观察到的事实。事实上,所有不能用质子–电子理论来解释具有自旋的原子核,都可以用质子–中子理论加以解释,证明具有自旋。原子–中子理论提出后马上被接受且沿用至今,终究原子核中是没有电子存在的。

更进一步地说,此种新模型也像旧的一样,能将元素整齐地填入周期表中。例如,氦原子核若是由2个质子和2个中子所构成,则可解释为何质量为4、核电荷却为2个单位。此外,这个概念能以非常简单的方式解释同位素。例如,若氯-35的原子核是由17个质子及18个中子所构成,而氯-37的原子核是由17个质子及20个中子所构成,则二者有相同的核电荷,至于较重同位素的额

外重量,主要是由多出来的两个中子所造成。同样地,氧的三种同位素也只是差别在中子数罢了;氧-16有8个质子和8个中子;氧-17有8个质子和9个中子;氧-18则有8个质子和10个中子(图7-2)。

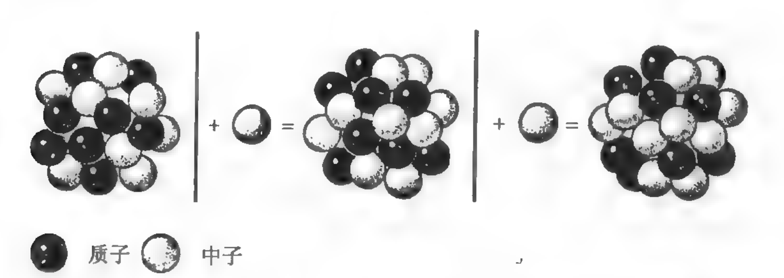


图7-2 氧-16、氧-17、氧-18的原子核构造。它们都含有8个质子,并分别有8、9、10个中子

简而言之,每种元素都可以简单地以原子核中等于原子序数的质子数来表示。除氢以外,所有元素的原子核中都有中子的存在,而且一个核素的质量数是其质子和中子之和。因此,中子和质子一起成了物质的一种基础构造块。为了方便,中子和质子合称为**核子**,这个名词是丹麦物理学家莫勒1941年首先使用的。从核子衍生出**核子学**。这个新名词是美国工程师Z.杰弗里斯1944年提出的,表示所有原子科学和技术的研究。

由于对原子核的结构有了新的认识,使得核素有了进一步的分类。就像前文所说过的,凡具有相同质子数的核素就叫做同位素;同样,具有相同中子数的核素(例如氢-2和氢-3,每个原子核中含有一个中子),称做同中子素;具有相同核子数的核素,当然具有相同的质量数——例如钙-40和氩-40——称做**同质异位素**。

原子核结构的质子-电子学说,在一开始时就没有解释为什么放射性核能放出β粒子(电子),然而,如果原子核中没有电子,那

么电子又从何而来呢?但是这个问题已经弄清楚了,下面我就简要地谈一谈。

正电子

在一个非常重要的方面,中子的发现使物理学家感到失望。他们曾认为宇宙只是由两种基本粒子构成的——质子和电子,而如今却多出了第三种粒子。对科学家而言,舍弃简易总是让人感到遗憾。

最糟糕的是,事实证明,这只不过是个开端罢了。更多的粒子不断地被发现,使得简单化理论很快就溃不成军。

物理学家曾花了多年时间研究来自空间的神秘的**宇宙射线**,这是奥地利物理学家 V.F. 赫斯 1911 年乘气球在大气层中高飞时首先发现的。

这种辐射的存在是由一简单的设备测定出来的。这套设备是如此之简单,对于那些认为现代科学只有靠极其复杂的设备才能进步的人而言,实在是令人振奋。这套设备就是**验电器**,构造是将两片金箔附着在一金属杆上,然后再将此金属杆放到装有窗户的金属外罩中(这套设备的前身远在 1706 年就由英国物理学家霍克斯比造出)。

如果此金属杆充以静电,那么此两片金箔就会彼此分离。理论上,这两片金箔会彼此永远分离,但实际上金箔周围大气中的离子会慢慢地传导电荷,因此箔片也会渐渐地靠近。高能辐射——比如 X 射线,γ 射线或其他带电粒子流——造成了使金箔漏电所必需的离子。即使屏蔽良好的验电器,仍然会有慢漏的情形,表示有一种和放射性并不直接有关但具有穿透力的辐射存在。V.F. 赫斯在大气中飞得越高,这种具穿透力的辐射密度就越增加。由于这个发现,V.F. 赫斯得到了 1936 年的诺贝尔物理学奖。

美国物理学家密立根收集了很多有关这种辐射的资料（并命名为宇宙射线），他断定这种辐射一定是电磁辐射的一种形式。宇宙射线贯穿本领很强，部分甚至能穿透几米厚的铅。密立根认为，它很像具有穿透力的 γ 射线，但波长较短。

其他科学家，尤其是美国物理学家康普顿，主张宇宙射线是粒子，并有一种方法可以测定。如果宇宙射线是带电粒子的话，当他们从外层空间接近地球时，会因地球磁场的影响而偏转。康普顿对各种不同纬度宇宙射线的测量加以研究，发现它真的受磁场影响而弯曲：靠近赤道的地方影响最弱，而在磁力线汇集的两极处影响最强。

当**原始**宇宙粒子进入大气层时，带有极高的能量，其中大部分是质子，但有些是较重元素的原子核，一般说来，原子核越重，在宇宙粒子中就越少，然而就像铁原子那样复杂的原子核却很快被探测出来，而且在 1968 年还探测出像铀原子核那样复杂的原子核。铀原子核只占这些粒子的 1/10 000 000。此外，还有一些超高能电子。

当这些原始粒子撞击到空气的原子和分子时，会将它们的原子核撞碎，而产生各种**次级粒子**。我们在地球附近所测试出来的就是这种次级辐射（仍然非常强），但发射到高层大气的气球却记录到原始辐射。

如今，由于宇宙射线的研究，继中子之后又发现了另一种新粒子。事实上，理论物理学家狄喇克曾经预测过这种粒子的存在，他由对亚原子粒子性质所作的数学分析，推论出每一粒子都应有一**反粒子**（科学家希望自然界不仅具有简单性而且具有对称性）。因此，应该存在一种**反电子**，这种反电子与电子完全相同，只是带有 1 个正电荷，而不是 1 个负电荷；也应该存在一种**反质子**，这种反质子带有 1 个负电荷而不是 1 个正电荷。

当狄喇克在1930年提出此项理论时并未引起科学界注意,但两年后反电子真的出现了。美国物理学家安德森与密立根一同研究宇宙射线究竟是电磁辐射还是粒子的问题。当时大部分的人都准备接受康普顿的论证,认为宇宙射线是带电粒子。然而密立根却是一位特别不甘心认输的人,他不满意问题就此了结。安德森想查明进入威尔孙云室的宇宙射线是否会受强力磁场的影响而弯曲。为了充分降低射线速度以便测出曲率(如果存在的话),安德森在云室中放置一块约10厘米厚的铅隔栏。他发现,穿过铅后再穿越云室的宇宙射线的确有一弯曲的径迹。不仅如此,他还发现了其他的物质。在高能量的宇宙射线穿过铅时,它们将一些粒子从铅原子中撞击出来,其中一种粒子形成和电子一样的径迹,但弯曲方向却相反,也就是具有相同质量却带相反的电荷。这就是狄喇克的反电子。安德森把这项发现称为**正电子**。这是宇宙射线产生次级辐射的一个例子,但在1963年,人们发现正电子亦包括在原始辐射中。

若正电子单独存在时,则和电子一样的稳定(既然除了电荷不同外,其余皆相同,为什么不这样呢),并且可以永久的存在。然而,正电子并不能单独存在,因为它是在一个充满电子的宇宙中产生的。当正电子单独射出时,几乎马上(比如说,在百万分之一秒内)可以在附近找到一个电子。

电子和正电子很可能会有片刻的缔合——两粒子互绕一共同力心的情形。1945年,美国物理学家鲁阿克建议,将这种双粒子系统称做**电子偶素**。1951年,奥地利血统的美国物理学家多伊奇通过电子偶素放出的特征γ辐射线而探测到电子偶素的存在。

然而即使有这样的电子偶素系统形成,存在的时间最多也只有10^{-7}秒而已。电子和正电子结合而结束它们的绕行。当这两个相反的物质结合在一起时,彼此相互抵消,不留下任何痕迹(**相互**

湮灭);只留下以 γ 射线形式存在的能量。这也使爱因斯坦提出的质能互换原理获得肯定。事实也是如此,安德森很快地探测出相反的现象:γ 射线突然消失,而产生一正负电子对。这种现象称为**对产生**(安德森和 V.F. 赫斯共同获得 1936 年的诺贝尔物理学奖)。

此后不久,约里奥-居里夫妇于另一场合中碰见了正电子,因而有了重要发现。他们发现在以 α 粒子轰击铝原子的过程中,不仅产生质子而且产生正电子。这是一件极为有趣的事,但并不惊人。然而当他们停止轰击时,铝仍继续放射出正电子!这种放射随着时间的推移而逐渐消失,显然他们已从靶上产生了一种新的放射性物质。

约里奥-居里夫妇对此的解释是:当铝原子核吸收了一个 α 粒子时,增加了 2 个质子,使得铝(原子序数 13)转变成磷(原子序数 15),因为 α 粒子一共含有 4 个核子,因此质量数将增加 4——由铝-27 转变成磷-31。如果现在有反应,可自核中撞击出一个质子,那么将减少一原子序数和减少一质量数,使得它转变成另一种元素——也就是硅-30。

既然 α 粒子是氦的原子核,而质子是氢的原子核,我们可以写出这一**核反应**的方程如下:

$$\text{铝}\ 27+\text{氦-}4\rightarrow\text{硅}\ 30+\text{氢-}1$$

注意两边的质量数平衡:$27+4=30+1$,原子序数和也是如此。铝的原子序数是 13,氦是 2,加起来是 15,而硅的原子序数是 14,氢是 1,加起来也是 15。这种质量数及原子序数的平衡可说是核反应的一般通则。

约里奥-居里夫妇设想,中子和质子一样在反应中形成,若磷-31所射出的是中子而非质子,则虽然质量数会减少 1,但原子序数不会改变,此例中之元素仍为磷,但却为磷-30。因此,方程

式变成

铝-27+氦-4→磷-30+中子1

因为磷的原子序数是15,而中子的原子序数为0,则方程两边的原子序数仍能平衡。

这两种过程——吸收α粒子后放出质子和吸收α粒子后放出中子——在以α粒子轰击铝时都会发生,但是这两种结果有一极大的不同。硅-30是众所周知硅的同位素,在自然界中约占硅的3%强,但是磷-30在自然界中却不存在。磷惟一为人所知的自然形式是磷-31。简言之,磷-30是一种短寿命的放射性同位素,在今天,它只能以人工方法制造出来;事实上,它是第一个在实验室中制造出来的这类同位素。由于约里奥-居里夫妇发现感生放射性,因而获得1935年的诺贝尔化学奖。

约里奥-居里夫妇发现轰击铝所产生的磷-30很不稳定,很快地就因放射出正电子而衰变。正电子如同电子不具任何可观的质量,放射并不会改变原子核的质量数。然而,失去一正电荷,却使原子序数减1,因此由磷转变为硅。

然而,正电子是哪里来的呢?它是否是原子核的构成成分呢?答案是否定的。真正的原因是原子核中的一个质子因失去一个正电荷,转变成一个中子,而这个正电荷是以快速正电子的形式释放出来的。

现在可以解释本章前述有关β粒子放射的疑惑了。β粒子的放出恰为质子衰变为中子的反过程,即由中子转变成质子。质子转变成中子会放出1个正电子,而同样,为维持对称性,由中子转变成质子也会放出1个电子(即β粒子)。失去1负电荷就等于获得1正电荷,这说明了为什么1未带电的中子会形成1带正电的质子。但问题是:未带电的中子如何发掘出1负电荷并把它往外送呢?

事实上，如果只是1个负电荷，中子是无法这样做的。两个世纪的经验告诉了物理学家，不管是负电荷或是正电荷都不能无中生有，也不能自行毁灭。这就是**电荷守恒定律**。

然而，在产生β粒子的过程中，中子不仅产生出1个电子，也产生出1个质子。不带电的中子消失了，取而代之的是带正电的质子和带负电的电子。如果将此两粒子的电荷**加起来**刚好等于零。不会产生任何静电荷。同样地，当1个电子和1正电子碰在一起时，彼此会互相湮灭。电子和正电子的电荷**加起来**刚好和刚碰在一起时一样，都等于零。

1个质子放出1个正电子后变成中子，原来的粒子(即质子)带的是正电荷，因此最终的粒子(中子和正电子)加起来也是1个正电荷。

1个原子核也有可能吸收1个电子。当发生此种情况时，原子核中的1个质子会转变成1个中子。1个电子加上1个质子(合计电荷为零)形成1个中子，而我们知道，中子是不带电的。被俘获的电子来自原子最内层电子壳层，因为此壳层中的电子最靠近原子核，因此最容易被吸收。由于最内层的是K壳层(见第六章)，因此这个过程被称为K**俘获**。此时，来自L壳层的电子就会掉入空出来的地方，而放出X射线，故由X射线可探测出K俘获。这是由美国物理学家阿尔雷斯于1938年首先发现的。只有原子核参加的一般核反应通常不受化学变化的影响，化学反应只影响电子。既然K俘获会影响电子和原子核，K俘获发生的机会多少会受化学变化的影响而有所改变。

所有这些粒子间的相互作用都符合电荷守恒定律。但是，它们也必须符合其他的守恒定律。物理学家认为，任何不违反守恒定律的粒子间的相互作用总会发生，观察者只要使用适当的工具，又有充分的耐心，就会探测到这种相互作用。违反守恒定律的事

件是被“禁止”的,而且不可能发生。虽然如此,物理学家有时会惊异地发现,守恒定律似乎并不像原来想象的那样严密和普遍适用。这方面的情况以后再说。

放射性元素

自从约里奥-居里夫妇造出第一个人造放射性同位素,物理学家便轻松地继续制造出整个家族的同位素。事实上,周期表上每一元素的各种放射性物质已在实验室中制造出来了。现代的周期表中,每一元素事实上都是一个家族,拥有稳定和不稳定的成员,有些是在自然界中发现的,有的只在实验室中才能找到。

举例来说,有三种不同的氢。第一种是一般的氢,含单一质子。第二种氢则是由化学家尤里在 1932 年找到的。他将大量的水慢慢地蒸发,成功地分离出第二种氢。理论上,最后他必须浓缩出这种一度被人怀疑是否存在的较重的氢。果然,当他用分光镜检查最后几滴未蒸发的水时,发现光谱中预测为**重氢**的位置上有一条不明显的线。

重氢的原子核是由 1 个质子和 1 个中子构成的。因为含有 2 个质量数,所以此同位素为氢-2。尤里把它命名为**重氢**或氘。这个字源自希腊文“第二”的意思,而其原子核则为**氘核**。含有氘的水分子就称为**重水**。因为氘含有一般氢两倍的质量,因此重水的沸点和凝固点较一般水为高。一般水的沸点和凝固点分别为 100℃ 和 0℃,而重水则为 101.42℃ 和 3.79℃。另一方面,与沸点为 20.4K 的一般氢比较,氘的沸点则为 23.7K。在大自然中,氘以 1/6000 的比例存在于一般的氢中。尤里由于发现了氘,而于 1934 年获得诺贝尔化学奖。

后来发现氘核是一种用来轰击原子核非常有价值的粒子。1934 年,澳大利亚物理学家奥利芬特及奥地利化学家哈特克以氘

核轰击氘本身，结果产生了第三种形式的氢，此种氢是由 1 个质子和 2 个中子构成的。

反应是这样的：

氢-2 + 氢-2→氢-3 + 氢-1

这种新的“超重”氢被命名为**三重氢**或**氚**，这个字源自希腊文“第三”的意思，它的原子核称做**三重氢核**或**氚核**，沸点是 25.0K，熔点是 20.5K。纯的氚氧化物——**超重水**已制造出来，熔点是4.5℃。氚具放射性，相比之下，衰变较快。氚在大自然中是宇宙射线轰击大气层中的分子所形成的。在衰变时，会放出一电子而变成氦-3，我们在前章曾经说过，这是一种稳定却少见的氦同位素。

大气层中，大约 80 万个氦原子中只有一个是氦-3，毫无疑问，都是由氢-3(氚)衰变而来的，而氢-3 本身则是宇宙射线粒子撞击大气层中的原子引起核反应所产生出来的。而且任何时候，氚的含量都是很少的。一般估计大气层和海洋中只有约 1.6 公斤的氚存在。在天然气井下，由于宇宙射线很少有机会在那里形成氚，因此在所得到的氦中，氦-3 的含量占的百分比就更小了。



图 7-3 通常的氢、氘、氚的原子核

氦-3 和氦-4 这两种同位素，并不是仅有的氦，物理学家已制造出两种放射性氦：一为氦-5，是最不稳定的原子之一；另一为氦-6，也非常不稳定。

现在可列出的同位素合计已增加到约 1 400 种之多，其中 1 100 多种具有放射性，而且许多元素是用新型原子炮产生出来的，这种原子炮比从放射源产生的 α 粒子强有力得多，而 α 粒子是

卢瑟福和约里奥-居里夫妇当时使用的惟一投射粒子。

20 世纪 30 年代初由约里奥-居里夫妇所做的实验,当时似乎是在建造科学的象牙塔,但后来的确有非常实际的应用。假设以中子轰击由一种或多种原子所构成的一组原子。每种原子以一定百分比吸收 1 个中子,结果通常是产生 1 个放射性的原子。这种放射性元素将衰变,以粒子或 γ 射线的形式放出亚原子辐射。

每种不同的原子将吸收中子而形成不同类型的放射性原子,而放出不同的特征辐射。我们可以精确地探测到这些辐射。从它的类型及衰变率,也可辨认出放射性原子放出的辐射,所以也可识别出未吸收中子前的最初原子。我们可以用这种方法(**中子活化分析**)来极其精确地分析物质:即使数量小到某一特定核素的 10^{-12} 克也可探测出来。

中子活化分析可用来确定取自不同世纪的某一种颜料样本中所含杂质的细微差别,因而,用这种方法,对被认为的古画,只需要使用其极少的一点颜料,就可以鉴定出真伪。此外,它也可做其他的精确鉴定:甚至拿破仑死了一个半世纪后,也可找出其尸体毛发中含有砷——不过却无法确定是被谋杀、服药致死或是意外死亡的。

粒子加速器

狄喇克不仅预言了正电子的存在,也预言过反质子。然而,要产生反质子需消耗极大的能量,产生反粒子所需的能量与粒子的质量成正比。既然质子质量是电子的 1836 倍,因此形成反质子所需的能量至少为形成正电子的 1836 倍。因此必须有一种装置来加速亚原子粒子,使之具有足够的高能量。

在狄喇克提出他的预言的时候,在这方面只是刚刚起步。1928 年,英国物理学家克罗夫特和瓦耳顿在卢瑟福的实验室中进行研究,他们研制出一种**电压倍增器**。这套装置是用来增加电位

的,可使带电质子的能量增加到约 40 万电子伏(1 电子伏等于 1 个电子在 1 伏特的电场中加速后所具有的能量)。因为质子在此机器中被加速,所以可打破锂原子核。由于这项研究,他们两位共同得到了 1951 年的诺贝尔物理学奖。

同时,美国物理学家范德格喇夫也正建造另一形式的加速器。基本上,此种加速器是将电子和质子分开,再利用一移动皮带将电子和质子分送到加速器相对的两端,**范德格喇夫发电机**在两端间产生一非常高的电位;范德格喇夫将电位升高到 8Mev。事实上,静电发电机能够很轻易地将质子加速到等于 24Mev 的能量(物理学家现在都将兆电子伏即百万电子伏缩写成 Mev)。

范德格喇夫静电发电机制造出巨大火花的戏剧性照片吸引了大家的想像力,大家都想看看这台**原子破碎机**。虽然人们看到的像是一部造出人造闪电的装置,但是,当然,它的功用远不止于此(一部只用来制造人造闪电的发电机,已于 1922 年由德国血统的美国电机工程师施泰因梅茨所完成)。

这种加速器所能达到的能量受限于所获电压的大小。然而,另一种加速粒子的方法马上孕育而生了。假如我们不用一次就能得到高能量的粒子去轰击靶粒子,而以一系列小推动的加速粒子来取而代之,而且使每一连续推动的时间得当,那么轰击粒子的速度将会逐次增加,就像我们推送小孩子玩的秋千一样,如果每次推动都和秋千的振荡“同向”的话,则秋千就会越荡越高。

根据这种想法 1931 年终于制造出**直线加速器**。这些粒子被引导到分成好几部分的管子内,驱动的力量来自一交变电场,而且设计成能使粒子每进入一个部分管子就能得到一次驱动力。因为粒子一面走一面加速,所以后一部分管子必须比前一部分的长,才能在相同的时间内通过每一部分。另外粒子速度必须与驱动的速度同向才行。

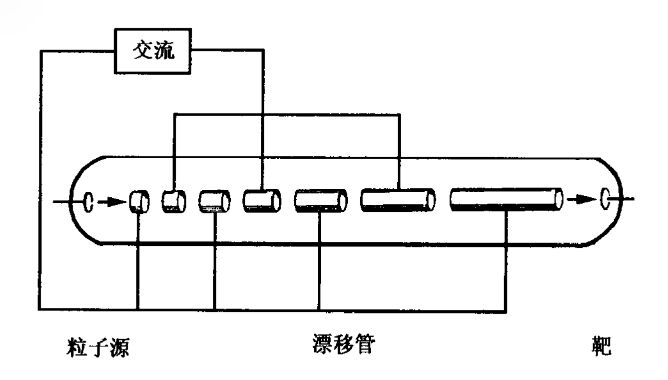


图7-4 直线型加速器的原理。高频交流电在一连串的驱动管中交替地推拉带电粒子,使它们朝着固定方向加速

使驱动速度维持正确无误并不是一件简单的事,再加上当时的技术使管子长度受限,所以直线加速器在20世纪30年代未获利用。但是加利福尼亚大学的劳伦斯提出了一个更好的构想,因而推动了加速器的进展。

劳伦斯在想,为何不让粒子绕一圆周路径旋转,以替代在笔直的管中前进呢?磁铁可使它们沿弯曲的路径行进。每当走完半圈时,粒子会受到交变电场的加速;而且在这种设备中,速度并不难控制。当粒子速度加快时,路径因磁铁而弯曲的幅度也不很陡,因此,可以沿较宽的圆形路径运动,且每绕一圈所花的时间也可能相同。粒子飞行路线呈螺旋状,飞行结束时粒子从圆形室中射出来撞击靶片。事实上,圆形室被分成半圆形的两半,称做D型电极。

劳伦斯将此种紧凑的新设备称做**回旋加速器**(图7-5),最初的模型直径小于0.3米,可将质子加速到约1.25兆电子伏的能量。在1939年的时候,加利福尼亚大学拥有一台1.25米直径磁铁的粒子回旋加速器,能够将粒子加速到约20兆电子伏的能量,为放射源射出的最大能量的α粒子速度的两倍。当年,劳伦斯由于

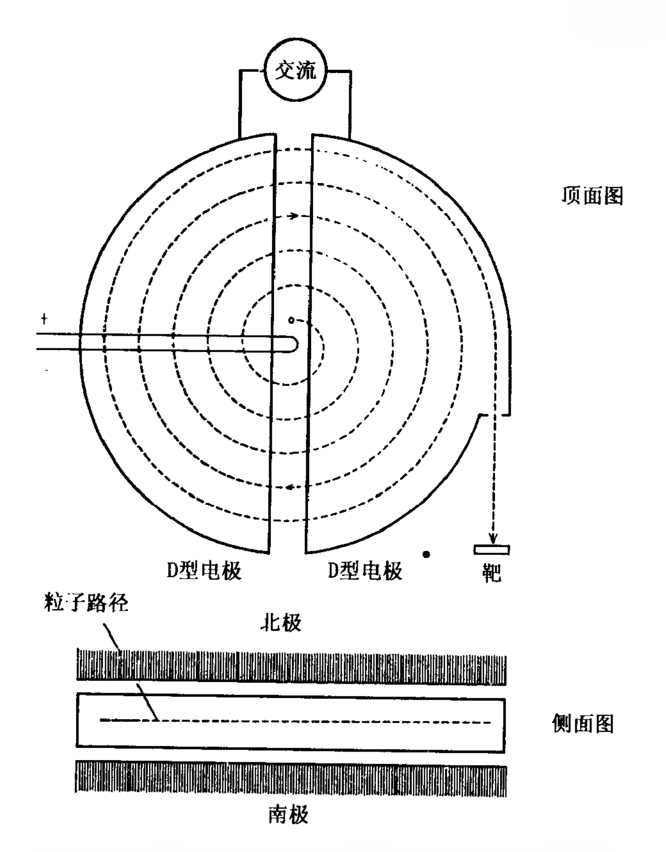


图7-5 粒子回旋加速装置的顶面图(上图)与侧面图(下图)。交变充电的每个D型电极使从源发出的粒子受到一次加速,并且受到磁场的作用弯曲成蜷线路径

这一发明而获得诺贝尔物理学奖。

粒子回旋加速器到约20兆电子伏时,就要受到限制,因为在此能量时,粒子随速度所增加的质量——爱因斯坦相对论中曾预言过的效应——相当可观,随着场加速,粒子开始停止加速,相位

也慢慢地落后。但有个办法可以补救,这个办法是苏联物理学家维克斯勒和美国加利福尼亚州物理学家麦克米伦于1945年同时独立地研究出来的。这个补救的方法就是简单地使电场强度随粒子质量的增加而同步增加。修正后的粒子回旋加速器叫做**同步回旋加速器**。在1946年时,加利福尼亚大学已造出能加速粒子使具有200兆~400兆电子伏能量的同步回旋加速器。此后美国及苏联的大型同步回旋加速器,将能量提升到700兆~800兆电子伏。

同时,电子的加速特别受到瞩目。为了用来撞碎原子,质量小的电子必须在速度上较质子快得多(就好像乒乓球如要和高尔夫球具有相同的杀伤力,运动速度就必须快很多才行)。粒子回旋加速器没有办法利用电子,因为电子在有效运用时所具有的高速会使质量大增。1940年,美国物理学家克斯特设计出一套电子加速装置,能使电场强度随质量而增加,并且能使两者间平衡。该装置是将电子保持在同一圆形的路径而非螺旋状的路径内。这套装置称为**电子感应加速器**。这套装置现在可使电子速度提升到340兆电子伏。

此外,还有一种设计稍有不同的仪器,叫做**电子同步加速器**,是高沃德和巴恩斯于1946年在英国最先建造出来的,可使电子能量增加到1 000兆电子伏的上限,但是不能再高了,这是因为在圆形路径中迅速运动的电子,当速度增加时,辐射能也随之增加。由加速粒子所产生的辐射叫做**轫致辐射**。

模仿电子感应加速器和电子同步加速器的原理,研究质子的物理学家约在1947年开始建造**质子同步加速器**。在此设备中,同样地使质子在单一的圆形路径上运行。这对节省设备的重量有相当帮助。当粒子在呈螺旋状的路径上运行时,磁铁必须覆盖整个螺旋状路径的宽度,使磁力能够均匀地分布;但若路径呈圆形,则磁铁只需覆盖一较窄的区域就可以了。

由于质子质量大，在圆形路径上运行时，能量不会像电子损失的那么快，于是物理学家开始使用质子同步加速器，朝着超过1 000兆电子伏上限的目标努力。1 000兆电子伏等于10亿电子伏——缩写成Bev（在英国，I billion等于1万亿，所以Bev在美国和在英国含义是不相同的。英国是用简写Gev来代表1 000Mev，G是由giga而来，是希腊文“巨大的”意思）。

1952年，位于长岛的布鲁克海文国家实验室完成一高达2～3千兆电子伏的质子同步加速器，称为宇宙级加速器，因为它能达到宇宙射线粒子中的主要能量范畴。两年后，加利福尼亚大学造出高能质子同步稳相加速器，能产生5千兆～6千兆电子伏之间的粒子。而后，1957年，苏联宣称他们的**配相加速器**可达10千兆电子伏。

但现在，上述这些机器和一种称为**强聚焦同步加速器**的新型加速器比起来，似乎微不足道。高能质子同步稳相加速器有一个限制，那就是粒子束会撞到所通过路径的墙壁；而新型装置能利用不同形状的交替磁场将粒子集中，成为窄的粒子束，避免粒子撞到墙壁。这个构想是克里斯托菲洛斯首先提出的。克里斯托菲洛斯在这方面以及在克里斯托菲洛斯效应中所显示的“业余”才能，使专家也相形失色。而这样做可以使达到能量水平所需的磁铁尺寸进一步减小。当粒子能量增加50倍时，所需磁铁的重量却小于2倍。

1959年11月，由12个国家合作组成的欧洲核研究委员会（CERN），在日内瓦完成了一座强聚焦同步加速器，能达到24千兆电子伏，且每隔3秒钟产生粒子大脉冲（含100亿个质子）。这个同步加速器的直径几乎有3个街区的长度，每绕一周长为640米。在产生脉冲的3秒间，粒子所绕的路径约为此长度的50万倍。这套装置包含一重达3 556吨的磁铁，价值3亿美元。

技术仍在不断地进步，人们寻求更高的能量以产生更多不寻

常的粒子相互作用,形成更多更重的粒子,以及了解更多有关物质的基本结构。举例来说,在**贮存环**中反向绕环的两粒子束速度能维持一段时间,我们为何不以环中沿方向相反进行的两束粒子来取代撞击固定靶的一束粒子呢?所以在适当的时候,它们会头对头地碰撞在一起。这样碰撞的有效能量是不论哪一束撞击一固定靶的4倍。芝加哥附近的费密国家加速器实验室依此原理设计的加速器,在1982年正式运行,达到1000千兆电子伏的能量。此加速器称做**垓电子伏加速器**。正在计划建造的另外几个加速器则有可能高达20000千兆电子伏的能量。

直线加速器也再度受到人们的注意。技术上的改良已将过去困扰的难题解决。就超高能来说,直线加速器有些优点是回旋加速器所没有的。因为电子在走直线时不会损失能量,所以直线加速器在电子加速上就更具威力,而且它能使电子更锐细地聚焦于靶上。斯坦福大学已建造出一座能达45千兆电子伏能量、长达3.2公里的直线加速器。

有了高能质子同步稳相加速器,人类终于可以制造反质子了。加利福尼亚州的物理学家已开始精心制造和探测反质子。1955年,张伯伦和塞格雷以6.2千兆电子伏的质子不断地轰击铜,确实得到了反质子——事实上,得到了60个。要辨认出反质子是很难的,在产生出来的瞬间,也同时产生了40000种不同的粒子。但通过探测器的精巧系统设计和排列得只有反质子才能到达所有的底板,如此即可无疑地分辨出粒子来。张伯伦和塞格雷由于这项成就而获得1959年的诺贝尔物理学奖。

反质子和正电子一样容易消失——至少就我们的宇宙而言是如此。在产生后的瞬间内,它就会被一般带正电的原子核所夺走。反质子和核中的质子相互湮灭,转变成能量及更小的粒子。1965年,人们已可集中足够的能量来逆转此过程,并且产生质子-反质

子对。

有时候，质子和反质子间只发生一种接近碰撞而不是直接碰撞。当此现象发生时，它们相互中和各自的电荷，质子因而转变成中子，这似乎是合理的。但是反质子却变成了**反中子！反中子**究竟是什么呢？正电子由于本身所带的正电荷而为电子的相反物，反质子亦然。但不带电的反中子又和中子有何相反的性质呢？

粒子的自旋

在这里我们必须重提粒子的自旋，这种特性是由荷兰物理学家乌伦贝克和古兹密特在1925年首先提出的。自旋时，粒子会产生一个小的磁场，这种磁场已由德国物理学家斯特恩和美国物理学家拉比彻底地探究并测出其大小。由于对这个现象的研究，两人分别获得1943和1944年的诺贝尔物理学奖。

这些被测到自旋为半整数的粒子——像质子、中子和电子——可依照1926年由费密及狄喇克分别提出的一套规则系统来处理，因此被称做**费密－狄喇克统计法**。符合此统计法的粒子称为**费密子**，因此，质子、中子和电子皆为费密子。

另一方面，世界上也存有能以整数表达自旋的粒子，它们可以由爱因斯坦及印度物理学家玻色所建立的另一套规则来处理。遵照**玻色－爱因斯坦统计法**的粒子称为**玻色子**，比如d粒子就是玻色子。

种类不同的粒子含有不同的特性。举例来说，泡利不相容原理(见第五章)不仅适用于电子，也适用于所有的费密子，然而却不适用于玻色子。

要了解一带电粒子如何建立磁场是很容易的，但要了解为什么一不带电的中子也会建立磁场，那就不简单了。然而中子会建立磁场是毫无疑问的。最直接的证据是，当一中子束撞击磁化的

离子时，就和它撞击未磁化离子时所表现出的行为不同。中子的磁性很可能是因为它本身是由其他带电粒子所组成的。就中子整体来说，这些粒子会在中子内互相抵消电性，但在其自旋时多少会建立一磁场。

总之，中子的自旋使我们知道了反中子是什么。它只不过是自旋方向和中子相反的另一中子罢了，比如它的南极是在上方而不在下方。事实上，质子和反质子及电子和正电子也有极向相反的现象。

毫无疑问，反粒子可组合成**反物质**，就好像一般的粒子形成一般的物质一样。第一个反物质的实例是1965年在布鲁克海文制造出来的。在那里，以7千兆电子伏的质子撞击铍靶产生了反质子和反中子的组合物，这是一种被称为**反氘核**的物质。自从**反氦**-3被制造出来后，无疑地，如果肯多花点心力，仍可形成更多复杂的反核原子。此原则是很明白的，没有科学家表示怀疑。反物质是能够存在的。

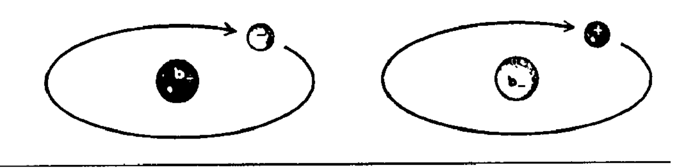


图7-6 一个氢原子及其由反质子和正电子组成的反物质的对应物

但反物质是否真的存在呢？宇宙中反物质是否有质量呢？如果有的话，那就会和观察结果有所差异。反物质的引力效应和所产生的光，与一般物质所产生的应该相同。然而，如果它们遇到一般物质时，则所产生的巨大湮灭反应应该是特别引人注目的。但事实却不然，天文学家并没有探索到天空中任何地方因爆发而产生的能量可清楚地确定是物质-反物质相互湮灭的结果。宇宙有

可能几乎全是物质，而仅有少量甚至根本没有反物质吗？如果真是如此，原因何在呢？既然物质和反物质除了电磁特性相反外，其他方面都相同，任何力量如果能产生其中之一，应该也能产生另一种，宇宙就应是由等量的物质和反物质所构成。

这是一种两刀论法。理论上告诉我们应有反物质存在，但实际的观察却无法支持这项论点。我们能说观察是失败的吗？活动的银河甚至于类星体，其核心究竟在那儿呢？这些具有巨大能量的现象是不是物质-反物质相互湮灭所产生的结果呢？很可能不是！甚至这种湮灭现象是不充分的，天文学家愿意接受引力崩溃和黑洞的观念，认为此二者可能是产生所需能量的惟一的已知机制。

宇宙射线

宇宙射线是什么呢？大多数宇宙线粒子拥有 1～10 千兆电子伏的能量。这也许可以用来解释物质-反物质的相互作用，但有些宇宙粒子能量可高达 20 千兆电子伏、30 千兆电子伏、40 千兆电子伏。麻省理工学院的物理学家已探测出一些拥有 200 亿千兆电子伏巨大能量的宇宙粒子，如此巨大的数目人们是难以理解的，但是我们计算出 200 亿千兆电子伏的能量能使一个亚微观粒子将 1.8 公斤的重物抬高约 5 厘米，由此可见该能量之大。

早在宇宙射线被发现时，人们就感到奇怪：它们是由何处来的呢？它们是如何产生的呢？最简单的观念是，在我们银河中的某个地方一直不断地进行着核反应，此反应将具有巨大能量的粒子往前推送。的确，每隔一年左右产生的这种不太强的宇宙射线（正如 1942 年首次发现的那样）与太阳的耀斑有关。那么像超新星、脉冲星及类星体，它们的来源又是什么呢？人们并不知道可产生 200 亿千兆电子伏的核反应究竟是如何发生的？最重的物质及

反物质核相互湮灭释放出的快速粒子最多也只能拥有 250 千兆电子伏的能量而已。

另一种说法,就像费密所说的那样,是假设空间有某种力量加速宇宙射线粒子,而这些粒子是由超新星之类的天体爆发所产生的,起初它们具有中等的能量,然后在空间旅途中慢慢地被加速。目前最流行的理论认为,这些宇宙射线粒子是由宇宙磁场所加速的。此处宇宙磁场扮演的角色就好像是一巨大的同步加速器一样。事实上,空间真的有磁场,而且一般认为,我们的银河就整体而言便拥有一个磁场,但强度最多只是地球磁场的 1/20 000。

在这个磁场中运动时,宇宙射线粒子在一弯曲的路径上慢慢被加速。当得到能量后,路径就会往外愈荡愈宽,直到那些最具能量的宇宙线粒子脱离银河为止。尽管大多数的粒子因彼此的碰撞而消耗了能量,不能达到脱离的轨道,但还是有部分粒子达到了。事实上,到达我们星球的最大能量的宇宙射线粒子,可能就是从另一个星系中以此方式脱离出来,然后再通过我们的银河。

原子核的结构

现在我们已经知道了原子核的一般组成及特性,但仍然对其结构非常好奇,特别是内部的精细结构。首先,原子核的形状是什么样子呢? 因为原子核非常小且质子和中子又紧密地充填其间,所以物理学家很自然地就假设它是球形的,而事实上,原子光谱的细节也告诉我们,许多原子核的电荷呈球形分布。当然,有些并不是如此,它们的行为表现出似乎拥有两对磁极,因此被称为是具有**电四极矩**的原子核,但是形状依然和球形相去不远。最极端的例子是稀土元素的原子核,其核内的电荷似乎呈长球形分布,换句话说,就是橄榄球形,但即使如此,长轴和短轴的长度差仍低于 20%。

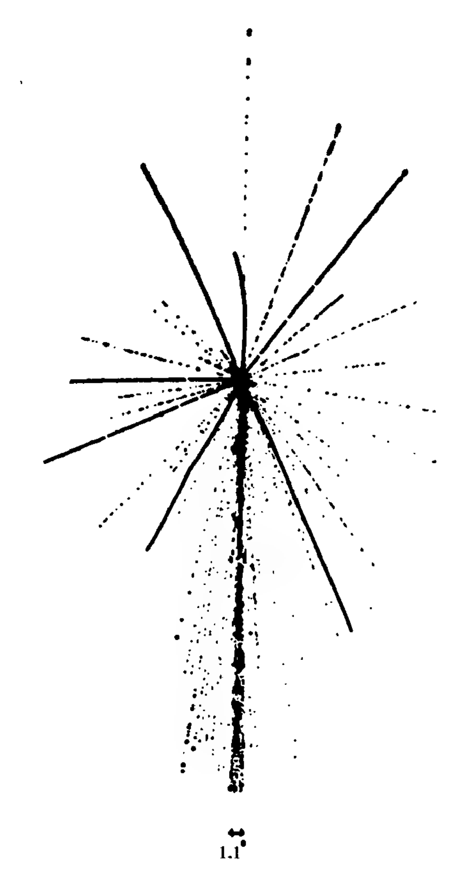


图7－7　这是一张由30 000千兆电子伏的宇宙射线击碎1银原子的照片。宇宙粒子与银原子核相撞产生出95块核碎片，形成犹如星裂的径迹

至于原子核的内部构造，最简单的模型将原子核描绘成是由粒子集合紧密填塞而成的，就好像液滴一样。液滴内的粒子（分子）紧密地挤在一起，分子与分子间几乎没有空间可言，且各处的密度相等，再者，液滴有一个明显的表面边界。

1936 年玻尔详细地研究了这种**液滴模型**,提出了原子核吸收或放出粒子的可能解释。当一粒子进入原子核时,我们可假设,它将运动能量分配给原子核中所有紧靠在一起的粒子,所以没有一个粒子可马上得到足够的能量而脱离原子核,约经过 10^{-15}秒后,就有足够的时间发生 10^9 次以上的随机碰撞,于是某些粒子聚集了足够的能量之后,就脱离了原子核。

此种模型也可解释由重核发射出 α 粒子的原因。如果组成这些较大核的粒子在原子核内运动并交换能量的话,那么原子核就会像液滴一样颤动。事实上,所有的原子核都会如此颤动,只是核越大越不稳定,越容易破裂。由于这个原因,以 2 个质子和 2 个中子形式所组成的 α 粒子(一种非常稳定的结合)就会自发地从原子核表面脱离出去。结果,原子核愈来愈小,颤动而破裂的倾向也愈来愈低,最后达到稳定状态。

颤动的现象也可能导致另一种形式的不稳定。当一大液滴悬浮在其他的液体中时,受周围液体流的影响也会产生摇晃的现象,此液滴遂有分解成较小圆球的倾向,大体说来通常是相等的两半。某些大原子核受中子轰击而产生这种形式的分裂现象已于 1939 年发现(将在第十章详尽描述),我们称之为**核裂变**。

事实上,核裂变在没有外来的扰动粒子引入时,应该偶尔会发生才对。内在的颤动应该会偶尔使原子核裂成两半。1940 年,苏联物理学家弗勒罗夫和派垂克确实在铀原子中探测到这种**自发裂变**。铀主要以放出 α 粒子的方式显示出它的不稳定性,在 454 克铀中,每秒有 4 次自发性核裂变,共有 8 兆个原子核释放 α 粒子。

自发性核裂变也发生在镤与钍中,更经常发生在超铀元素里。原子核愈大,发生自发性核裂变的概率也愈大。对于最重的元素而言,自发性核裂变就成为最重要的分裂方法,比 α 粒子的放射重要得多。

原子核另一种较普遍的模型则把原子核比作原子的整体结构。原子核内的核子就像电子层层围绕原子核一样,且各层之间影响甚微,这种模型称为**壳层模型**。

由于核子与原子的电子壳层相似,我们可假设原子核的外壳层如果填满了核子,将比未填满核子的原子核稳定。这一极其简单的理论告诉我们,具有2、8、20、40、70或112个质子或中子的原子核将特别稳定。然而,此理论却不能与观察的结果相符。德国血统的美国物理学家梅耶夫人(M.G. 梅耶)将质子和中子的自旋考虑进去,并进一步地证明了自旋是如何影响壳层模型理论的。考虑自旋的结果,显示具有2、8、20、50、82和126个质子或中子的原子核特别稳定——与观察结果符合。此外,具有28、40个质子或中子的原子核也相当地稳定,相对地,如果和上述的几种原子核相较,其他的原子核就显得较不稳定。这些**壳层数**有时被称做**幻数**,而28或40壳层有时也被称做**半幻数**。

氦-4(2个质子和2个中子)、氧-16(8个质子和8个中子)以及钙-40(20个质子和20个中子)都特别稳定,而且与其他大小相似的核相比较,它们在自然界中的蕴藏量显得丰富多了。

对于幻数较高的元素而言,锡有10种稳定的同位素,每种同位素都有50个质子;而铅也有4种稳定的同位素,每种都有82个质子。总共有5种各含50个中子的同位素(每种都是不同的元素),以及7种各含82个中子的稳定同位素。一般而言,核壳层理论的详细预测最接近幻数,然而介于幻数间的元素(比如镧系和锕系),核壳层理论与观察结果就不大相符了。但是在幻数与幻数正中间的区域,原子核偏离球形最远,明显地呈椭球状,而壳层理论是在假设球形下建立的。1963年的诺贝尔物理学奖颁给了梅耶夫人以及其他两位对此理论也有贡献的物理学家——维格纳和德国物理学家延森。

一般而言,原子核愈复杂,它们在宇宙间就愈稀少,也愈不稳定,或两者兼具。最复杂的稳定同位素是铅-208 和铋-209,都是126个中子的幻数。此外,铅还是82个质子的幻数。除此以外,所有的核素都是不稳定的,一般原子核愈大就愈不稳定。然而,由于幻数的考虑,解释了为什么钍和铀比其他大小相似的核素拥有较稳定的同位素。此理论也预测元素110和114的同位素(正如早先提过的)可能较其他大小相似的核素不稳定得多。

轻　子

电子和正电子因其微小的质量而受到注意,它们的质量仅为中子、质子、反中子或反质子中任一粒子质量的1/1 836,因此被统称为轻子,源自希腊文“细薄”的意思。虽然电子在近100年前首次被发现,然而迄今为止,仍然未能发现其他带有电荷但质量较电子为轻的粒子,而且科学家也不期望能发现这种粒子。我们虽然知道电荷的效应和如何测量它的性质,但我们却不知道它的本质究竟是什么;不论电荷是什么,它总是以最小质量出现,像电子显示的那样。事实上,电子可能仅是电荷而已;而且当电子表现如同粒子时,在电子上的电荷似乎没有广度而只是占据一个小点。

当然某些粒子根本就不具任何质量,也就是没有**静质量**,同时这些粒子也没有电荷。例如,光波和其他形式的电磁辐射现象可以用粒子来表示。而这种用以说明电磁现象(曾被认为是波动)的粒子,称为**光子**,源自希腊文“光”。

光子没有质量且不具电荷,而由于自旋为1,所以是一种玻色子。我们怎么知道自旋是多少呢?光子在核反应中,有时被吸收,有时则被释出,在这些核反应中,所有参与反应的粒子反应前后的自旋总值应该维持不变,即**自旋守恒**。然而在光子参与的核反应

中,惟一能符合自旋守恒的情况就是假设光子的自旋为1。光子并不被认为是轻子,它是专供费密子使用的术语。

我们有理论上的理由认为,当质量在加速状况下(例如围绕另一质量在椭圆轨道上运动或是引力崩溃时),能量将以引力波的形式释放出来。这些波动也同样具有粒子的性质,这种粒子称为**引力子**。

引力与电磁力相比极其微弱。一个质子和一个电子间互相吸引的引力,大小约仅为作用于其间的电磁力的 10^{-39}。所以引力子必然不及相应的光子活跃,因而更难探测到。

虽然如此,美国物理学家韦伯仍然在1957年开始着手探测引力子的困难工作。他将一对153厘米长、66厘米宽的铝制圆柱体用金属线悬吊在真空室内。引力子(探测出呈波的形式)如果存在,将会轻微地移动这两根圆柱体,此时再以一个能够测出 10^{-14} 厘米位移的测量系统加以测量。来自宇宙深处的引力子的微弱波动,应该同时扫过整个地球,所以也应该同时影响到这一对相距有段距离的圆柱体。韦伯在1969年宣称他已经发现了引力波的效应。这个声明相当令人兴奋,因为一项特别重要的理论——爱因斯坦的广义相对论将可获得实验上的支持。不幸的是,并非所有的科学故事都会有愉快的结尾。其他的科学家无论如何尝试,也无法再和韦伯一样发现引力子,也就是说仍然未能发现引力子。但是物理学家仍然对广义相对论满怀信心,并且确信引力子一定存在。他们认为引力子没有质量也没有电荷,自旋量为2,属于玻色子,而不是轻子。

光子和引力子都没有反粒子,或说它们本身就是自身的反粒子。有一个方法或许有助于想象这种情形,把一张纸对折,然后翻开,中间就会出现一道折线,在折线左右两边等距离处各放一个小环,它们分别代表电子和正电子,至于光子和引力子则恰好位于折

痕上。

中微子和反中微子

到目前为止,轻子只有两种:电子和正电子。除非需要新的轻子,物理学家已满足这种现状,因为似乎没什么充分的理由需要其他的轻子了。然而,困扰就出现在放射性核放出β粒子上。放射性核放出的粒子通常都带有可观的能量,这些能量是由哪里产生的呢?它是由原子核一小部分质量转化成能量而来的,换言之,在排出粒子的作用中,原子核总有少量的质量损失。长久以来,有一个问题一直困扰着物理学家,那就是在核衰变中放出的β粒子所带走的能量,不足以和原子核失去的质量相平衡。事实上,并不是每个电子所丧失的能量都是相等的。它们表现出一宽度的能量分布,只有极少数的电子能得到最高能量,但是其他大部分的电子则显示出大小程度不一的能量短缺。不过并不是所有的亚原子粒子发射都是这种情况。有一特别的核素发射出的α粒子所带的能量就和期望值完全一样。那么到底在β粒子发射中出了什么问题呢?不足的能量到底跑到什么地方去了呢?

1922年,迈特纳首次提出上述的问题;到了1930年时,玻尔已经想要放弃能量守恒定律了,至少在应用于亚原子粒子的时候是如此。然而在1931年,泡利为了要挽救能量守恒定律,对不足能量之谜提出了一个解释。他的解释非常简单:另外有带着缺少的那部分能量的其他粒子和β粒子一起由原子核发射出来。这神秘的第二种粒子具有相当奇怪的性质:它没有质量而且不具电荷,运动速度为光速,它所具有的仅是一定量的能量。这个粒子像是为了能量平衡而故意虚构出来的。

但是这个粒子一被假设出来,物理学家立刻就确信这种粒子一定存在。当中子被发现分离成1个质子和1个如β衰变中一样

不具足够能量的电子时，他们更加确信它的存在。意大利的费密给这个想象中存在的粒子取了个名称，称之为**中微子**，意大利文的意思是“小而中性的”。

中子提供了物理学家另一项中微子存在的证据。正如前文曾提过的，几乎每一个粒子都有自旋。自旋的大小是以正负$\frac{1}{2}$的整数倍来表示。现在我们知道电子、质子和中子的自旋都是$\frac{1}{2}$。如果一个自旋是$\frac{1}{2}$的中子放射出1个质子和1个电子，2个粒子自旋都是$\frac{1}{2}$，那么自旋守恒定律将会如何呢？显然会有问题发生。如果自旋是同方向，电子和质子的自旋总和为1。如果是反方向，总和就是0；但是无论你如何分配自旋，它们的自旋总和绝不可能和中子的$\frac{1}{2}$相等。幸好中微子的出现解决了这个问题。中子的自旋是$\frac{1}{2}$、质子是$\frac{1}{2}$，电子则为$-\frac{1}{2}$，那么质子和电子自旋的总和为0，而中微子的自旋当然就是$+\frac{1}{2}$，所以它也是个费密子，因此也是个轻子，这样一来，方程式便漂亮地平衡了。

$$+\frac{1}{2}(\text{中子})=+\frac{1}{2}(\text{质子})-\frac{1}{2}(\text{电子})+\frac{1}{2}(\text{中微子})$$

但是还有更多的平衡工作要做，1个粒子(中子)形成了2个粒子：质子和电子，如果我们把中微子也算在内的话，那就是形成了3个粒子。因此推测中子转换成2个粒子和1个反粒子，亦即粒子总数为1，似乎更为合理些。换句话说，我们需要用来平衡的不是1个中微子而是1个反中微子。

中微子会在质子转换成中子的反应中出现。这个反应的产物是1个中子(粒子)、1个正电子(反粒子)和1个中微子(粒子)，如

此也达成了平衡。

也就是说,中微子和反中微子的存在可以挽救不只一条而是三条重要的守恒定律:能量守恒定律、自旋守恒定律、粒子和反粒子守恒定律。挽回这些定律是非常重要的,因为在其他不牵涉到电子和正电子的各种核反应中,它们都能成立。如果在牵涉到正电子和电子的反应中也能成立的话,那将非常有用。

最重要的质子-中子转换是发生在太阳以及其他星体所进行的核反应中,所以星体会放出快速而大量的中微子流。据估计约有6%~8%星体的能量就是被放出的中微子流带走的。然而这个估计仅对类似太阳的星体才能成立。1961年,美国物理学家邱洪宜认为,随着星体中心温度的升高,另外产生中微子的反应变得重要起来。一个星体在其演化过程中,趋向于一个愈来愈热的核心(见第二章),有更大比率的能量被中微子流带走。

这一论点是十分重要的。由光子传播能量的方式较为缓慢,因为光子会与其他物质相互作用,所以由太阳的核心前进至表面之前,需要经过无数次的吸收和再发射过程,因此,虽然太阳核心的温度是15 000 000℃,表面的温度却只有6 000℃。由此也可知道构成太阳的物质是热的良好绝缘体。

然而,中微子却不容易和其他物质起反应。人们曾计算过,普通中微子可以通过厚达100光年的固态铅,被吸收的概率只有50%。所以,任何在太阳核心形成的中微子,生成后就立刻以光速在3秒内达到太阳表面,然后离开太阳,不会遭到任何阻碍。不论白天或黑夜,任何由太阳朝向我们而来的中微子都可毫无困难地穿越我们的身体。即使在黑夜里,虽然有庞大的地球介于我们和太阳之间,中微子穿越地球和我们,和它只穿越我们身体一样容易。

邱洪宜计算出,当星体中心的温度达到6 000 000 000K的时

候，星体所产生的大部分能量都被传送至中微子上。这些中微子一旦形成，便带着能量离去，星体中心因此急剧冷却。或许就是这个原因，使星体产生剧烈的收缩而成为天空中一颗明亮的超新星。

追踪中微子

反中微子产生于任何中子转换成质子的反应中，但是据目前所知，每个星体都会产生庞大的中微子流，而反中微子则不然。所以反中微子的最重要来源是天然放射性和铀裂变。

除非确实查出了中微子的究竟，不然物理学家们是绝不会就此满意的；一位科学家不愿意仅为信仰而接受某些自然现象或定律。但是要如何去探测像中微子这样朦胧的实体，一个既没有质量、电荷，而且实际上也不具有与一般物质相互作用倾向的实体呢？

但是还有一线希望。虽然中微子与其他粒子反应的概率非常小，但并不是完全没有。中微子通过 100 光年厚的固体铅而不受影响只是平均的算法而已，还是有一些中微子会在完全通过铅之前和其他粒子发生反应的。而且有极少数的中微子（对全部的粒子数来说，几乎是无法想象的极小比率）甚至会停止在相当于 0.254厘米厚的铅内。

1953 年，由洛斯阿拉莫斯科学试验室的考恩和莱因斯共同领导的一组物理学家，开始尝试这件近乎不可能的探测工作。他们把探测中微子的设备建在佐治亚州萨凡纳河边原子能委员会的一个大型核裂变反应堆旁。这个反应堆可以提供中微子流，极有希望释放出大量的反中微子。为了捕捉反中微子，实验人员使用几个装满水的大水槽，计划让反中微子冲击水中的质子即氢原子核，然后达到探测质子捕捉反中微子的结果。

情况会如何呢？当 1 个中子分解时，产生 1 个质子、1 个电子

和 1 个反中微子。所以 1 个质子吸收到 1 个反中微子后,应会产生上述逆反应。也就是说,质子将转变为中子,并在此过程中放射出 1 个正电子。所以有两个可证明反中微子存在的粒子必须找出来,一是中子,一是正电子。在水中溶解镉化合物可以检测出中子的存在,因为镉吸收中子后,会放出具有特定能量的 γ 射线。而正电子的产生可由它和电子的湮灭作用中放射出的另一种 γ 射线鉴别出来。如果实验仪器探测到这两种特定的 γ 射线,而且这两种射线又被确切的时间分离开,则物理学家将可确定已经捕捉到反中微子。

实验人员安置好精巧的探测仪器后,开始耐心地等待;直到 1956 年,恰为泡利提出中微子的 1/4 世纪后,终于捕捉到了反中微子。当时的报纸甚至一些学术性的期刊只简单地称之为中微子。

要捕捉到真正的中微子,我们需要一个富含中微子的放射源,而最明显的一个就是太阳。就像中微子和反中微子是对立的一样,既然发现反中微子的设备已经出现,那么能够用来探测与反中微子相对的中微子的设备到底是怎样一个系统呢? 意大利物理学家庞蒂科沃提出了一个可能的方式,就是使用占氯原子总数约1/4的氯同位素氯-37。1 个氯-37 原子核中的中子吸收 1 个中微子,这个中子就会变成质子,同时也会放出 1 个电子。然后原子核内将有 18 个质子和 19 个中子,而变为氩-37。

为了做成一个相当大的氯中子靶,可能必须使用液态氯,但是氯是一种强腐蚀性而又含有剧毒的物质,不但如此,若要一直保持氯在液态状况,冷冻技术上更有相当的困难。因此选用含氯的有机化合物来代替氯,有一种叫做四氯乙烯的氯化物非常适合捕捉中微子的需要。

美国物理学家 R.R. 戴维斯在 1956 年用四氯乙烯做了一个

捕捉中微子的陷阱，以证实中微子和反中微子间确实存在差异。假若这两种粒子的确不同，这个陷阱将只能探测到中微子而不是反中微子。1956年，此项设备安装在一个核裂变反应堆的附近，如果中微子和反中微子完全相同，那么它应该能探测到反中微子，但是结果并非如此。

下一步是试图探测由太阳而来的中微子。为了这个目的，科学家使用了一个装满10万加仑四氯乙烯的大水槽，将之装设在南达科他州的一个矿坑深处，该处地层厚得足以吸收除中微子以外来自太阳的所有粒子。于是就产生这种奇怪的情况，我们必须潜伏在地球内部深处来研究太阳。这个水槽便暴露在中微子下达数月之久，累积足够的氩-37以利探测。然后使用氦气充入大水槽中22小时，于是在氦气中发现微量的氩-37，证实中微子的存在。到1968年，太阳的中微子已被探测到，但数量却不及由当时理论所预测的1/3。这个发现相当令人困扰，我将在本章稍后再度提及。

核相互作用

我们可列出目前所得的10个亚原子粒子如下：4个较重粒子，或称为重子(源自希腊文的“重”)——质子、中子、反质子和反中子；2个玻色子——光子和引力子；4个轻子——电子、正电子、中微子和反中微子。但由于下述原因，物理学家认为这些粒子仍然不够。

孤立的电子和质子间的吸引作用，或者是2个质子或2个电子间的排斥作用，都可以很容易地解释为电磁相互作用的结果。2个原子或2个分子之间的结合也可用电磁相互作用来解释，认为是带正电的核吸引外围电子的结果。

在当时认为原子核是由质子和电子构成的情形下，似乎电磁

相互作用——指在原子核内的电子和质子间的全部吸引作用,已经足以解释为何原子核也可结合在一起。但自从原子核结构的中子-质子理论在1930年被接受之后,令人吃惊的是我们竟无法解释到底是什么力量结合成原子核。

如果质子是在原子核中惟一带电的粒子,那么在原子核中被紧密压缩在一起的质子所产生的电磁相互作用,应该是极为强大的排斥作用。任何原子在这种情况下形成的话,也会在刚形成时就被这排斥的力量爆炸开来。

所以很明显,一定还有其他类型的相互作用,一种比电磁相互作用更强大而且能够压倒它的相互作用。1930年时,惟一为人知晓的另一种相互作用是**引力相互作用**。但是引力和电磁力相比极其微弱,在亚原子的讨论中根本可以完全忽略,没有人会想到它。除了引力外,一定还有一种迄今未知但非常强大的某种**核相互作用**。

核相互作用的强度可用以下的考虑加以说明。要把氦原子的2个电子从核外拿走只需54电子伏的能量。这个能量足以说明电磁相互作用的强大了。

另一方面,1个中子和1个质子组成的氘核,是所有原子核中结合最弱的一个,需要2兆电子伏就能将它分开。考虑到原子核中粒子间的距离较分子中原子间的距离更为紧密,因而断定核相互作用的强度约为电磁相互作用的130倍,这个结论并不过分。

但是核相互作用的本质究竟是什么呢?第一个具有引导性的说法在1932年由海森伯提出,他认为原子核内的质子是由**交换力**结合在一起的。海森伯把原子核内的中子和质子想象为连续变换的同一物体,所以任一粒子,可能先是质子,然后变成中子,再变为质子,如此地持续下去。这个过程可使原子核保持稳定,正如我们可以将热烫的马铃薯在两手间快速地抛来抛去一样。在质子能够"察觉"到自己是个质子而试图逃离旁边的质子之前,它已经变为

一个中子,而可安定地留在原来的位置上。自然这要非常之快才能避免不稳定,大约在 10^{-24} 秒内就要发生一次交换。

另一个解释这种相互作用的方式是,假想有 2 个粒子,在其间交换着第 3 个粒子。每一次 A 粒子释放出交换粒子时,它本身因动量守恒而向后移动;每一次 B 粒子接到交换粒子,它也因动量守恒而被向后推。随着这交换粒子的来回传递,A 粒子和 B 粒子的距离越来越远,看起来他们就像经历排斥作用一样。另一方面,如果交换粒子是以回力棒方式环绕运动,由 A 粒子背后飞到 B 粒子背后,那么这 2 个粒子将被推近,看起来就像经历一种吸引作用。

由海森伯理论看来,所有的引力和斥力都是粒子交换的结果。在电磁的吸引和排斥作用中交换的粒子是光子;在引力吸引作用中交换的是引力子(很明显,在引力相互作用中没有斥力)。

因为光子和引力子都没有质量,所以很显然电磁力和引力与作用距离的平方成反比,而且即使隔了一段极远的距离也都能察觉到。

引力相互作用和电磁相互作用是**长距离相互作用**,而据我们目前所知,也是仅有的两种长距离相互作用。

即使核相互作用确实存在,它也不可能是长距离相互作用的一种。在原子核内的核相互作用必须非常强大,以维持原子核的存在;而在原子核外却无法察觉到,不然,核相互作用老早就该被发现了。所以,核相互作用的强度一定是随着距离的增大而快速地减小。作用距离每增加一倍,强度就减为大约原来强度的 1%,而不像引力和电磁力一样仅减为1/4。基于上述的理由,核相互作用交换的粒子一定不会是无质量的粒子。

μ 介子

1935 年,日本物理学家汤川秀树以数学方式分析上述的问

题,结论是一个拥有质量的交换粒子将会产生一个小范围的力场。粒子的质量与它所造成的力场范围成反比:粒子的质量越重,力场范围就越小。他最后推论出,应该在质子和电子之间还有一种适当粒子的质量。汤川秀树估计它的质量约为电子的 200～300 倍。

仅一年之后,便发现了这种粒子。加利福尼亚理工学院的安德森(正电子的发现者)在研究次级宇宙射线留下的径迹时,发现了一道径迹比质子径迹弯得大而比电子径迹弯得小。也就是说,这种粒子的质量在电子和质子之间。很快便有更多相同的径迹被发现,造成这种径迹的粒子被命名为**介子**。

后来质量介于电子和质子间的其他种类粒子也陆续被发现。为了能够区分上述第一个被发现的粒子,因此将之命名为**μ 介子**。μ 是希腊字母,几乎所有希腊字母都被用于命名亚原子粒子。正如以前提及的粒子一样,μ 介子也有两种,一正一负。

μ 介子的质量为电子的 206.77 倍,约为质子质量的 1/9;负 μ 介子是个粒子,而正 μ 介子却是个反粒子。负 μ 介子和正 μ 介子分别与电子和正电子相当。事实上到了 1960 年,我们可以确定负 μ 介子除了质量与电子不同外,其他方面完全相同。因此负 μ 介子是个**重电子**,同样地,正 μ 介子是个**重正电子**。

正负 μ 介子会相互湮灭对方,而且在湮灭对方之前会短暂地绕行双方的力中心,和电子与正电子间进行的情况完全一样。这种绕行的另一种变化在 1960 年为美国物理学家 V.W. 休斯所发现。他发现了 1 个电子绕行 1 个正 μ 介子的系统,称之为**μ 子素**。而 1 个正电子绕行 1 个负 μ 介子的系统则称为**反 μ 子素**。

这个 μ 子素原子与氢相当类似,氢的结构是 1 个电子绕行 1 个质子,而这两个系统在很多性质上相当类似。虽然 μ 介子与电子间除了质量外完全相同,但质量的不同已使它们不是对方真正

的反粒子，所以不会进行互相湮灭。而 μ 子素也就没有正电子素的不稳定性。如果不是 μ 介子本身无法长存，μ 介子素可能存在更久，甚至只要没有外界干扰，μ 子素可以永远存在。

μ 介子和电子间的另外类似性是：正如重的粒子可以产生电子和反中微子(例如中子变成质子)，或是产生正电子和中微子(例如质子变成中子)，所以重的粒子也会相互作用产生负 μ 介子和反中微子，或正 μ 介子和中微子。在最初的几年，物理学家一直认为伴随着电子和正电子的中微子，与伴随着正负 μ 介子的中微子是完全相同的粒子。然而在 1962 年，却发现这两种粒子实际上互不相干，也就是说，电子的中微子不参与形成 μ 介子的相互作用，同样，μ 介子的中微子也不参与形成电子或正电子的相互作用。

总而言之，物理学家发现他们已拥有两对无质量无电荷的粒子，一对是电子反中微子和正电子中微子；另一对是正 μ 介子中微子和负 μ 介子反中微子。这两种中微子和反中微子间到底有什么差异，在当时没有人说得出来，只知道它们就是不一样。

μ 介子和电子及正电子间有另一差异，那就是稳定性。电子或正电子在没有外来影响的情况下，将永远保持原状不会改变。而 μ 介子却非常不稳定，在百万分之几秒的平均寿命期过后即会分解。负 μ 介子会分解为 1 个电子、1 个电子反中微子和 1 个 μ 介子中微子；正 μ 介子的分解则产生 1 个正电子、1 个电子中微子和 1 个 μ 介子反中微子。

当一个 μ 介子发生衰变后，会以少于其 1/200 的质量形成 1 个电子或正电子以及 1 对毫无质量的中微子。那么 μ 介子其余 99.5%的质量到那里去了呢？很明显，一定是变成能量以光子发射出来，或是消耗在形成其他的粒子上。

如果我们反过来把足够的能量集中在空间中一微小的体积内，那么产生的不会是正负电子对，而会形成另一对更为臃肿的粒

子。除了因能量臃肿表现出的质量之外,这粒子对与正负电子对极为相似。这些附加在基本正负电子上的额外的质量并不很牢固,所以上述的 μ 介子并不稳定,很容易摆脱这些多余的质量而形成电子或正电子。

τ 介子

如果能把更多的能量集中在一微小体积内,则更大、更重的粒子将会形成。在加利福尼亚州,珀尔使用一加速器使高能电子撞击前面的高能正电子,因而在 1974 年发现了这种超重电子。他称这种粒子为 **τ 电子**,τ 是另一个希腊字母,通常简称为 **τ 介子**。

正如所预测的那样,τ 介子质量约为 μ 介子的 17 倍,而约为电子的 3 500 倍。事实上,τ 介子质量是质子或中子的 2 倍。虽然 τ 介子质量很大,但它仍属于轻子,而除了质量和不稳定性外,其他的性质和电子也完全相同。由它较大的质量来看,τ 介子必然较 μ 介子更不稳定,事实上也是如此。τ 介子只能存在约 10^{-12}秒,即分裂成 μ 介子,然后成为电子。

当然,τ 介子也有正负粒子。物理学家理所当然地认为有第三种中微子和反中微子随着 τ 介子存在。虽然到目前为止尚未有任何发现。

中微子的质量

现在我们已知有 12 种轻子:正负电子、正负 μ 介子、正负 τ 介子、电子中微子和反中微子、μ 介子中微子和反中微子、τ 介子中微子和反中微子。这些粒子很明显可分为三种阶层(或者物理学家现在所说的三种风味):电子、μ 介子、τ 介子,及其各自相关的中微子和它们的反粒子。

有了这三种风味的轻子,没有理由不会再有第四种、第五种。

只要我们能使用的能量可以无止境地增加,将会形成更多的轻子,每一风味都较前一风味更大、更重而且更不稳定。虽然理论上可产生的风味数目并无限制,实际上当然有其限制。最后,顶多把全宇宙所有的能量都用来形成1个特别高阶层的轻子,不可能有更高能的轻子出现了。但是,这样的粒子将会极不稳定,以至于其短暂存在无任何意义。

如果我们把注意力局限在已知的三种风味的轻子上,中微子的秘密将变得更复杂。这三对无质量、无电荷的费密子,因其粒子相互作用而各异,可是目前我们还无法就其性质来加以区分。

或许确有一可区分的性质,只是我们还未切实地找到罢了。例如,三种风味的中微子都被认为是没有质量,且都以光速运动。现在我们假设每一种中微子都有一非常微小的质量,且与另外两种的质量不同。如此一来,它们之间的性质自然就彼此不同了。或者是它们的运动速度都稍小于光速,而与光速的差距又各稍有不同,这样也有了性质的差异。

在这种情形下,有一种理论支持下述的主张:任何中微子在运动时会改变本体,一会儿是电子的中微子,一会儿则是μ介子的中微子,另一会儿又变成τ介子的中微子。这种变换称为**中微子振荡**,其可能性最早由一些日本物理学家于1963年提出。

在20世纪70年代末期,中微子原始发现者之一的莱因斯和加利福尼亚大学的索贝尔以及帕西尔柏共同合作,试验中微子振荡的真实性。他们用铀分裂产生的中微子来撞击224.95公斤非常纯的重水。这个过程应该只会产生电子的中微子。

中微子可以引起以下任何一种反应。第一种反应称为**中性流反应**。在这种反应中,中微子撞击重水中由中子和质子组成的重氢核,使中子和质子分开,本身则继续运动。任何一种中微子都可产生这种反应。第二种反应是中微子撞击中子和质子后,引发质

子变成中子的反应,产生电子,在这种反应后,中微子不复存在。第二种反应称为**电荷流反应**,只有电子中微子才会产生这种反应。

如果中微子不振荡而仍保持为中子中微子,则我们将可算出上述的每一种反应会发生多少次;同样地,如果中微子产生振荡,而且有些已变为其他种类中微子,上述每一种反应的发生次数仍然可以计算出来。1980年,莱因斯宣称他的实验似乎已经证实中微子振荡的存在。之所以用"似乎"这两个字,是因为这个实验几乎是在可探测的极限中进行的,同时也因为其他的实验人员仍未发现任何中微子振荡的迹象。

这件事目前仍属存疑阶段,但莫斯科的物理学家却从事另一论点的实验,与振荡扯不上一点关系 ,结果似乎显示出电子中微子质量可能是40电子伏,也就是电子质量的1/13000,故认为中微子没有质量一点也不值得奇怪。

如果莱因斯的实验是正确的,确实有中微子振荡,那么在本章前面提到令科学家迷惑的来自太阳的中微子短缺的情形将可获得解释,戴维斯用来探测太阳中微子的设备仅能测出电子的中微子。如果由太阳射出的中微子发生振荡,那么在到达地球后可能已成为三种风味中微子的混合物,无怪乎我们探测到的中微子数仅及预测量的1/3。

如果中微子确有一微小的质量,即使仅为电子质量的1/13000,但因为中微子的数目远超过所有中子和质子的总和,所以宇宙质量的99%都是由中微子所构成。而且第二章提及的"失去的质量",也可容易地得到解释。事实上,在宇宙中应有足够的中微子质量使之靠拢,以确保宇宙的膨胀最终停止,并且再度开始收缩。

如果莱因斯说的没错,上述推论才能成立。但是到目前为止,

我们尚未明了真相究竟如何。

强子和夸克

既然 μ 介子是一种重电子，它就不大可能是汤川秀树所寻找的巩固原子核的粒子。原子核内从未发现电子，所以也不可能发现 μ 介子。早在怀疑电子和 μ 介子的性质几乎相同之前，上述的说法就已有纯实验基础支持。μ 介子并不具有与原子核作用的倾向，于是汤川秀树的理论有一段时间发生了动摇。

π 介子和介子

然而在 1947 年，英国物理学家 C.F. 鲍威尔在宇宙射线的照片中发现另一类型的介子。它比 μ 介子略微重些，后来证明质量约为电子的 273 倍。这个新介子被命名为 **π 介子**。

π 介子与原子核有强烈的反应，恰好就是汤川秀树所预言的粒子。所以汤川秀树在 1949 年获得诺贝尔物理学奖，鲍威尔则于 1950 年获得。事实上，中子和质子间有一个正 π 介子，作用犹如交换力；另外有一相应的反粒子——负 π 介子，在反中子和反质子间担当同样的任务。这两种 π 介子的寿命都较 μ 介子短，在 1/40 微秒的寿命过后，它们就衰变成 μ 介子和 μ 介子的中微子。当然 μ 介子会再衰变成电子和中微子。还有一个中性 π 介子，本身就是自己的反粒子，也就是说，这个粒子只有一种。中性 π 介子极不稳定，在 10^{-18} 秒内就会衰变成一对 γ 射线。

虽然 π 介子属于原子核内部，但有时候与原子核作用之前会有片刻环绕原子核，形成 1 个 **π 介子原子**，这个情况在 1952 年被发现。事实上，任何一对正负粒子或粒子系统都会和对方互绕。20 世纪 60 年代，物理学家为了能得到一些粒子结构的细节观念，曾研究过

很多这种会逐渐消失的“奇异原子”。

π 介子是统称为**介子**的粒子中第一个被发现的。介子并不包括 μ 介子在内，虽然 μ 介子是首先知道的并给以此名称的粒子。介子和中子及质子有强烈的相互作用(图 7-8)，而 μ 介子不会与原子核作用，所以失去成为介子族成员的权利。

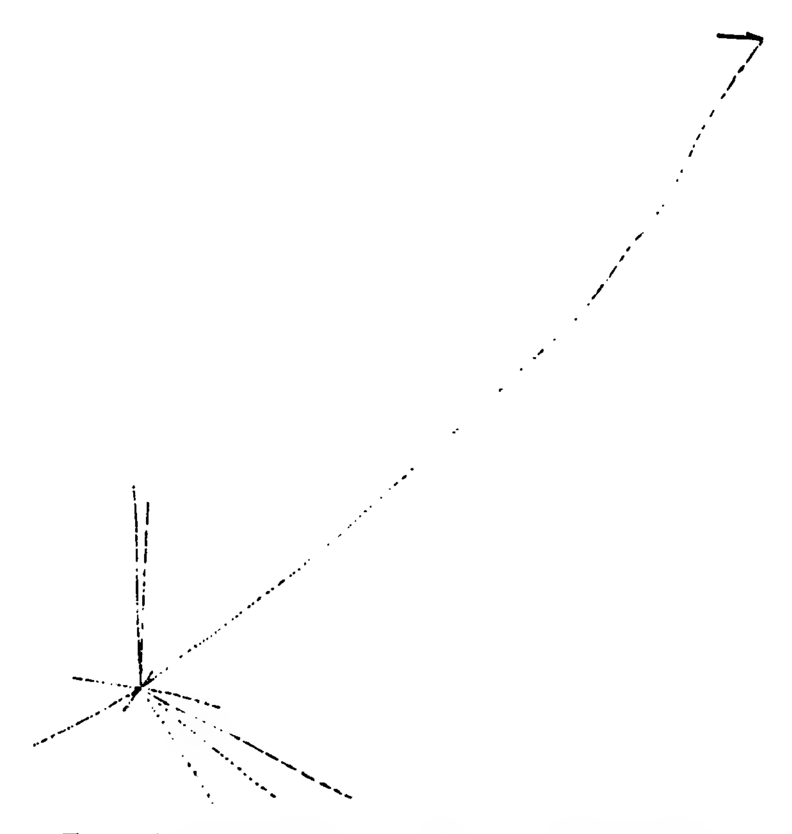


图 7-8 介子同核相撞。一个来自次级宇宙辐射的高能介子撞到一核上产生出更多的介子和 α 粒子的星裂(左下图)，然后一个高能介子沿着图上指出的摇晃路径达到右上角，在那里与另一个核相撞而最后被阻止

除了 π 介子外，**K 介子**也是介子族的一分子。K 介子在 1952 年由两位波兰物理学家丹尼兹和帕尼夫斯基首先发现。它的质量是电子的 970 倍，是质子或中子的 1/2。K 介子分两种，一种为正 K 介子，另一种为负 K 介子，也都有反粒子。当然它们也不稳定，会在约 1 微秒内衰变成 π 介子。

重子

在介子之上的粒子是重子，重子包括中子和质子。到了 20 世纪 50 年代，质子和中子仍是仅知的重子。自 1954 年开始有一系列更重的粒子被发现，有时候称为**超子**。近年来重子数得到特别的激增，而质子和中子便成为这一大类中最轻的粒子。

物理学家发现在所有的粒子衰变中，重子的总数(重子数减去反重子数)保持不变，称之为**重子数守恒定律**。裂变反应总是由一较重粒子变成一较轻粒子，如此即可解释为什么质子是重子中惟一稳定的粒子，因为质子恰好是重子中最轻的粒子。如果质子发生衰变。它将不会再是个重子，否则将会违背重子数守恒定律。基于同样的理由，反质子也是稳定的，因为它是反重子中最轻的粒子。当然 1 个反质子和质子摆在一起时会互相湮灭，因为 1 个重子加上 1 个反重子，重子的总数为零。

同样也有一**轻子数守恒定律**，由此定律可解释为什么电子和正电子是轻子中仅有的稳定粒子。它们是最轻的轻子，不可能在不违背轻子数守恒定律的情况下发生衰变。实际上，电子和正电子还有不能发生衰变的第二个理由。它们是具有一个电荷的最轻粒子，如果再衰变成其他更简单的东西，则将会失去电荷——这是**电荷守恒定律**所不允许的。电荷守恒定律事实上比重子数守恒定律更为坚固，所以在某种程度上来说，电子和正电子比质子和反质

子更为稳定——或者说，至少它们是比较稳定的。

除了质子和中子外，被发现的重子都以希腊字母命名，它们是**Λ**(lambda)**粒子**、**Σ**(sigma)**粒子**和**Ξ**(Xi)**粒子**。Λ粒子只有一种中性的Λ粒子，Σ粒子有三种：正、负和中性；Ξ粒子有二种：负的和中性的。以上的每一种都各有其反粒子，总共便有一打的粒子种类。这些粒子非常不稳定，没有一个能存在超过1/100微秒；而且有些粒子如中性的Σ粒子，10^{-14}微秒内就会衰变。

中性Λ粒子可以替代原子核中的中子而形成**超核**——仅存在10^{-9}秒的实体。最早发现的是超氚核，由一个中子、一个质子和一个Λ粒子所组成。这个原子核是1952年帕尼夫斯基和丹尼兹在宇宙辐射产物中找到的。丹尼兹在1963年的报告中说，超核包含2个Λ粒子。1968年，甚至发现负的超子可以替代原子结构中的电子。这些较重的电子替代物在紧靠着原子核的区域内环绕，实际上是在原子核的外部区域内。

但是以前提到的所有粒子都算是比较稳定的粒子，它们的存在时间可以直接探测到，而且容易找出其寿命和特性。在20世纪60年代，阿尔瓦雷斯发现了另外一组的第一种粒子，因此获得1968年的诺贝尔物理学奖。这组粒子的存在时间实在太短，只能由它们衰变的产物来推断。它们的一半寿命约在10^{-24}秒左右，令人怀疑的是它们到底是真正个别的粒子，还是两个或多个粒子暂时偶遇的组合。

这些寿命超短的粒子被称为**共振粒子**，而在物理学家所能控制的能量越来越高时，他们也制造出更多的粒子，现在约有150种以上的粒子被发现。这些粒子，不是属于重子，就是属于介子；重子和介子便被统称为**强子**(也是源自希腊字，意思是“庞大”)。轻子仍然只有三种风味，每一种包含了粒子、反粒子、中微子和反中微子。

物理学家因强子的增加而烦恼，如同一个世纪以前化学家为了元素的增加而烦恼一样。他们开始认为强子一定是由更简单的粒子所组成。强子不像轻子只是个小点；它们有一定的直径，一个当然不大的直径，约为 2.54×10^{-13}厘米，这已经不算是个小点了。

在20世纪50年代，美国物理学家霍夫斯塔特使用极高能量的电子来研究原子核。这个电子没有和原子核反应而是被反弹回来，这使得霍夫斯塔特对强子的结构有了一个结论，但是后来被证实并不正确，不过却是一个好的开始。因此，他分享了1961年的诺贝尔物理学奖。

夸克理论

发展至此，似乎有必要为亚原子粒子列个周期表了。把它们组成一大家族，包括成员或基本成员及其他相应的激发态粒子（表7－1）。

1961年，美国物理学家盖耳曼和以色列物理学家尼埃曼，分别提出自己分类的结果。成群的粒子依相同性质以漂亮的对称方式组合在一起，这个方式盖耳曼称之为**八重**方式，正式的名称是SU＃3。特别是，有一分类后的粒子族群尚需另一粒子才算圆满。这个粒子如果存在，而且是这族群中的一员的话，它必须具备一特定的质量和一组特定的性质。这些性质的要求不像是一个粒子所能具有的。然而在1964年，一个恰好符合预言中所有性质的粒子被发现了，几年后，这个粒子——**Ω** 被探测到几十次。1971年，它的反粒子——反 **Ω** 也被发现。

即使重子被分成数个族群，亚原子周期表也已建立，仍然还有很多的不同粒子驱使物理学家要找出更简单、更基本的粒子。1964年盖耳曼努力完成了以最少数目的**亚重子粒子**来解释所有重子的最简单方式，这种粒子以**夸克**的名称出现。盖耳曼取这个

表 7-1　长寿命亚粒子表

粒子家族名称	粒子名称	符号	质量	自旋	电荷	反粒子	不同粒数	平均寿命（秒）	典型衰变模式
	光子	γ	0	1	中性	同一个粒子	1	无限长	-
	引力子		0	2	中性	同一个粒子	1	无限长	
电子	电子中微子	v_e	0	1/2	中性	$\overline{v_e}$	2	无限长	
	电子	e	1	1/2	负	e^+（正电子）	2	无限长	
μ介子	μ介子中微子	v_μ	0(?)	1/2	中性	v_μ	2	无限长	
	μ介子	μ^-	206.77	1/2	负	μ^+	2	2.212×10^{-6}	$\mu\rightarrow e+\overline{v_e}+v_\mu$
介子	π介子	π^+	273.2	0	正	π^- 同粒子	3	2.55×10^{-8}	$\pi^+\rightarrow\mu^++v_\mu$
		π^-	273.2	0	负	π^+ 同粒子		2.55×10^{-8}	$\pi^-\rightarrow\mu+v_\mu$
		π^0	264.2	0	中性	π^0 同粒子		1.9×10^{-16}	$\pi^0\rightarrow\gamma+\gamma$
	K介子	K^+	966.6	0	正	$\overline{K^+}$（负）	4	1.22×10^{-8}	$K^+\rightarrow\pi^++\pi^0$
		K^0	974	0	中性	$\overline{K^0}$		1.00×10^{-10} 和 6×10^{-8}	$K^0\rightarrow\pi^++\pi$
重子	核子	P(质子)	1836.12	1/2	正	$\overline{P}$(负)	4	无限长	
		n(中子)	1838.65	1/2	中性	$\overline{n}$		1013	$n\rightarrow p+e+\bar{v}$
	Λ	Λ^0	2182.8	1/2	中性	$\overline{\Lambda^0}$	2	2.51×10^{-10}	$\Lambda^0\rightarrow p+\pi$
	Σ	Σ^+	2327.7	1/2	正	$\overline{\Sigma^+}$（负）	6	8.1×10^{-11}	$\Sigma^+\rightarrow n+\pi^+$
		Σ^-	2340.5	1/2	负	$\overline{\Sigma^-}$（正）		1.6×10^{-10}	$\Sigma\rightarrow n+\pi$
		Σ^0	2332	1/2	中性	$\overline{\Sigma^0}$		大约 10^{-20}	$\Sigma^0\rightarrow\Lambda^0+\gamma$
	Ξ	Ξ	2580	1/2	负	$\overline{\Xi^-}$（正）	4	1.3×10^{-10}	$\Xi\rightarrow\Lambda^0+\pi$
		Ξ^0	2570	1/2	中性	$\overline{\Xi^0}$		大约 10^{-10}	$\Xi^0\rightarrow\Lambda^0+\pi^0$

K^0介子具有两个不同的寿命，其他所有的粒子均有一个寿命　此表来源于 Kenneth W. Ford 著的"基本粒子世界"，1963 年出版。

名字是因为他发现只需要结合 3 个夸克就可以构成重子，而且这 3 个夸克的不同组合方式便可组成所有已知的重子。

为了能解释重子已知的性质，这 3 个不同的夸克必须有其本身特具的性质。最令人惊异的是分数电荷。所有已知的粒子不是没有电荷，就是拥有 1 个完全和电子或正电子相同的电荷，再不然就是电子或正电子电荷的整数倍。也就是说，已知的电荷，应该是 0、+1、-1、+2、-2 等等。因为分数电荷的想法太离奇了，盖耳曼的构想在开始时遭到很强烈的阻力。但是他想方设法加以解释，使大家能静心地聆听，然后给予承认，而在 1969 年得到诺贝尔物理学奖。

例如盖耳曼一开始讲了两种夸克，现在这两种夸克分别被称为**上夸克**和**下夸克**。**上**和**下**实际上并不代表任何意义，而只是描述它们的一种奇怪方式。这两种粒子或许称之为 **u 夸克**和 **d 夸克**比较好。

u 夸克具 $+\frac{2}{3}$ 电荷，而 d 夸克电荷则为 $\frac{1}{3}$。因此，就有带 $-\frac{2}{3}$ 电荷的**反 u 夸克**和带 $+\frac{1}{3}$ 电荷的**反 d 夸克**存在。

2 个 u 夸克和 1 个 d 夸克将会有 $+\frac{2}{3}+\frac{2}{3}$ 和 $-\frac{1}{3}$ 的电荷，总和为 1，而组成 1 个质子。另一方面，2 个 d 夸克和 1 个 u 夸克会有 $-\frac{1}{3}$、$-\frac{1}{3}$ 和 $+\frac{2}{3}$ 的电荷，总和为 0，而组成 1 个中子。

3 个夸克以电荷总和为整数的方式聚合在一起。所以 2 个反 u 夸克和 1 个反 d 夸克，电荷总和是 -1，将会形成 1 个反质子。而 2 个反 d 夸克和 1 个反 u 夸克，总电荷为 0，形成 1 个反中子。

因为核相互作用的关系，夸克结合得十分紧密，所以到目前为止，科学家完全没有办法把中子和质子击碎成个别的夸克。事实

上,有人认为夸克之间的吸引作用随距离的增长而增大,所以没有任何办法可以将质子或中子分解开。如果是这种情况,那么分数电荷可能存在,但永远也不会被探测到,这样盖耳曼这个突破的想法就比较容易为人们所接受了。

这两种夸克不足以解释所有的重子或介子(介子由 2 个夸克所组成)。盖耳曼提出第 3 种夸克,现在称之为 **s 夸克**。这个 s 的意思是"旁边"(为了和上、下配合之故),但常被认为代表的是"奇异性",因为 s 夸克常被用来解释某些所谓**奇异粒子**的结构。之所以称之为奇异,是因为它们实际的寿命较预测的长。

最后,物理学家由研究夸克假说而认为夸克一定成对存在。如果有一个 s 夸克,那么就一定有一个伴随夸克,称之为 **c 夸克**。c 代表的意义不是"同伴",而是"魅力"。1974 年,美国物理学家 B. 里克特和丁肇中各自独立地研究,用高能分离出了需要 c 夸克性质的粒子(这些就是具有"魅力"的粒子)。他们二人共同获得了 1976 年的诺贝尔物理学奖。

成对的夸克也有各种风味,在某些情况下,它们和轻子的风味很相似。每一种风味的夸克都有 4 个成员,例如 u 夸克、d 夸克、反 u 夸克和反 d 夸克,正如每一种风味的轻子都有 4 个成员一样,例如电子、中微子、反电子和反中微子。夸克和轻子一样都有 3 种已知的风味:轻子是电子、μ 介子和 τ 介子;夸克是 u 夸克及 d 夸克、s 夸克及 c 夸克,最后是 t 夸克和 b 夸克。**t 夸克**和 **b 夸克**真正代表的是"顶"和"底",在科学家的幽默中,又代表了"真"和"美"。夸克和轻子一样,似乎只有小点一般大小,并且是没有结构的最基本粒子。但我们并不确信是如此,因为我们曾经被这种想法愚弄过,起先认为原子是基本粒子,后来又认为中子是基本粒子,结果都不是。夸克和轻子都可能有无数的风味,只要我们能掌握更大的能量,就可找到它们。

夸克和轻子的最大区别是轻子带有的电荷必为整数,或者不带电荷,而且轻子不会互相结合。但是夸克带有的却是分数电荷,而且明显地仅以组合的方式存在。

夸克依据某些规则而组合。每一种不同风味的夸克有 3 种不同的性质,这是轻子所没有的。这个性质被称为**颜色**(只是打个比方),而 3 种性质被称为**红**、**蓝**、**绿**。

当 3 个夸克结合在一起形成 1 个重子时,必须 1 个是红的,1 个是蓝的,1 个是绿的,这样的组合便没有颜色或说是白色。这就是为什么用红蓝绿三色为性质命名的原因。因为在我们的世界中,例如电视中,这三种颜色的组合就产生白色。当 2 个夸克结合在一起形成介子时,一个是一特别的颜色,另一个则是这一特别颜色的反颜色,它们的组合仍然是白色。轻子没有颜色,从一开始就是白色。

正如分数电荷这个性质不会在夸克的产物中出现一样,夸克的颜色也不会在其产物中发现,这种由颜色研究夸克组合的方式称为**量子色动力学**(由这个词可回溯到一个在电磁相互作用中相当成功的理论,即**量子电动力学**)。

夸克是由一交换粒子不断地前后运动使它们结合在一起的,这个粒子叫做**胶子**。胶子有它自己的颜色,这更增加了复杂性,它们又可互相结合而形成一种被称为**胶球**的产物。

虽然强子不能分成独立的夸克(介子有 2 个夸克,重子有 3 个),但仍然有间接的方式证明夸克的存在。只要有**足够的**能量被集中在一微小体积内,夸克便能由一无所有开始形成,例如把高能的电子流和正电子流撞击在一起形成 τ 介子便是如此。

由这种方式产生的夸克会立即结合到沿相反方向离开的强子注和反强子注中去。如果能量足够大的话,将会形成类似三叶苜蓿的三道粒子注——强子注、反强子注和胶子注。强子注和反强

子注已经由实验形成,1979年,有人声称在其实验中胶子注已经出现了雏形,这将是对夸克理论的一大支持。

场

粒子的质量是球形向外无限伸展的引力场的源,而场的强度则与离源距离的平方成反比。

考虑个别粒子造成引力场时,其强度是无法想象的小,小到在讨论粒子相互作用时完全可忽略不计。但是质量只有一类,而且两个粒子间的引力相互作用似乎总是吸引作用。

而且,一个由多个粒子所组成的系统,从该系统以外的一点来看,其引力场是所有组成粒子单个引力场的总和。像地球或太阳这样大的物体所产生场的强度犹如在物体重心处一个含有物体整个质量的粒子所造成的引力场的强度。只要这物体是球形而且密度均匀,或是密度由中心向外的变化是严格呈球对称的,则上述说法就完全正确,所以对太阳和地球这样的物体来说当然也算正确。

因此太阳和地球都有极强的引力场,它们之间互相作用,吸引住对方,虽然相隔15000万公里仍然相当牢固地聚集在一起。虽然银河系星体分布有数百万光年的范围,也因引力而能聚集在一处,如果宇宙开始再度收缩,那也是作用距离达数十亿光年的引力吸引的结果。

带有电荷的粒子是电磁场的源。电磁场由中心向外任一方向无限地伸展,强度随中心距离的平方而减弱。既具质量又带电荷(任何电荷都具有质量)的粒子当然就同时是引力场的源了。

电磁相互作用

任一带电粒子所造成的电磁场强度是其引力场强度的几个

10^{36}倍还要多。然而电荷有正电荷和负电荷两种,电磁场也表现出吸引和排斥两种作用。当一系统内的正负电荷个数一样多时,电荷趋于中性,系统外不会呈现有电磁场。一般完整的原子都由相同数目的正负电荷组成,所以原子都呈现出电中性。

当多余的电荷出现时,电磁场也就产生,但是因为异性电荷互相吸引的作用,使得多余的电荷非常少。因此讨论到比小行星更大的天体时,电磁场的大小根本无法和引力场比较。故牛顿只以引力相互作用来解释太阳系的天体运动,结果也相当令人满意,这种解释方式也可推广至恒星和星系的运动上。

电磁相互作用在太阳系的形成中也扮演了一个不可忽视的角色。例如由太阳至行星的角动量传递,及由小粒子形成环绕土星的土星环等过程中,电磁相互作用都不能被忽略,这些都是相当微小的修正。

每一个强子(包含介子和重子及组成它们的夸克)都是一个向外无限伸展的力场源,强度却随距离急剧减小,以至于在原子核大小的区域外就无法察觉。在原子核中具有压倒性优势的力场,即使在 2 个高速粒子以原子核大小的距离相互掠过的情形下,一样相当强大,但是当两者距离大于原子核直径时力场就可忽略不计。这种力场对一般天体的运动可以说毫无影响,但是对于星核内的活动,却相当重要。

轻子同样具有一个只有原子核距离才能察觉到的力场源。事实上,轻子的力场范围甚至较强子力场来得小。它们同属核力场,但它们之间有极大的不同,不只是造成力场的粒子不同,而且强度也不同。强子造成的力场,在粒子与粒子之间其场强为电磁场强度的 137 倍。轻子造成的力场仅为电磁场强度的 10^{-11}。因此强子力场通常称为**强相互作用**。而轻子力场均称为**弱相互作用**(注意,弱相互作用与强相互作用及电磁相互作用相比之下,虽然微

弱,但仍然约为引力相互作用强度的 10^{28}倍)。

就我们所知,这四种相互作用已经能够解释粒子的所有行为,也能解释各种可以测量的行为。目前没有第五种相互作用存在或可能存在的任何迹象。我们说这四种相互作用能解释所有可测量的现象,并不代表我们已经了解这些现象。这就好像与你可以知道一个复杂的数学方程式有解,但是你却解不出的道理一样。

弱相互作用在 1934 年首先由费密用数学方式处理,但是往后数十年,它依然是四种相互作用中最不为人了解的一种。例如,这四种相互作用都应有传递这些作用的交换粒子——传递电磁相互作用的是光子,传递引力相互作用的是引力子,传递中子和质子强相互作用的是 π 介子,夸克间的强相互作用是胶子。所以在弱相互作用中也应该存在一种 **W 粒子**,W 当然代表“弱”。半个多世纪以来 W 粒子一直是难以捉摸的。

守恒定律

我们建立了一些守恒定律,据以判断什么粒子相互作用是可能的,什么是不可能的,或更一般地说,宇宙中什么可能发生,什么不可能发生。如果没有这些守恒定律,宇宙中的事物将变得完全无法理解。

核物理学家大约研究了一打守恒定律。有些是为人们所熟悉的 19 世纪的物理守恒定律:如能量守恒定律、动量守恒定律、角动量守恒定律、电荷守恒定律。还有一些是人们不太熟悉的守恒定律:如奇异性守恒定律、重子数守恒定律、同位旋守恒定律等等。

强相互作用似乎遵守所有上述的定律。在 20 世纪 50 年代早期,物理学家毫不怀疑地认为这些定律不容变更,而且放诸宇宙皆准。但是事实并非如此,在弱相互作用中,有些守恒定律并不被遵循。

第一个被推翻的守恒定律是**宇称守恒**。宇称是个纯数学上的

性质，无法以具体的字眼来形容，若把这个性质当作是一个与粒子的波动性及其在空间中的位置有关的数学函数，大概就可以了。宇称有两个可能的值——**奇**和**偶**。最重要的是，宇称曾经被认为与能量和动量一样是一基本性质，所以必须服从守恒定律：在任何反应或变化的前后，宇称维持不变。也就是说，当粒子作用形成新的粒子时，在方程式两边的宇称必须平衡，正如质量数、原子数或角动量必须平衡一样。

让我再加以说明，如果1个奇宇称的粒子和1个偶宇称的粒子作用形成两个其他粒子，这两个新粒子必定有一个为奇宇称，另一个为偶宇称。如果两个奇宇称的粒子作用形成另两个新粒子，这两个新粒子必须同时为奇宇称或偶宇称。反过来说，如果1个偶宇称性的粒子衰变成两个粒子，这两个粒子必须同为奇宇称或偶宇称。如果它形成3个粒子，不是3个粒子都是偶宇称，就是其中1个呈偶宇称，另2个呈奇宇称。如果你用奇偶数来考虑的话，你将会了解得更清楚。例如一个偶数只能是两个偶数或两个奇数的和，但绝不会是一个奇数和一个偶数的和。

麻烦是由K介子的衰变开始引起的，有时候K介子衰变成2个π介子（π介子具奇宇称，两个的和为偶宇称），有时候又产生3个π介子（3个的和为奇宇称）。物理学家于是下结论说有两种K介子，一个呈奇宇称，另一个呈偶宇称，分别命名为**τ**(tau)**介子**和**θ**(theta)**介子**。

但是除了宇称外，由任一方面来看，这两种介子都是相同的：同样的质量，同样的电荷，同样的稳定性，每一种性质都一样。在这些性质完全相同的情况下，很难相信它们会是两种不同的粒子。有没有可能是宇称守恒定律出了差错，而它们实际上是同一种粒子呢？这个说法，由两位美籍中国物理学家李政道和杨振宁在1956年提出。他们认为，虽然宇称守恒定律在强相互作用中正

确,但在像K介子衰变这种弱相互作用中却会是错误的。

他们以数学方式证明上述的可能性。他们认为,如果宇称守恒定律不起作用,弱相互作用中的粒子应该表现出的是**手征性**,手征性首先由匈牙利物理学家维格纳在1927年提出。让我解释一下什么是手征性。

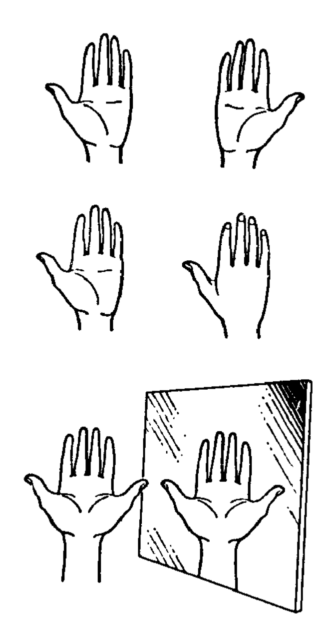
左手和右手是相反的,任何一只手都是另一只手在镜中的影像:在镜中右手看起来是左手。如果手在各方面都对称,那么镜中的影像和实际上的不会有任何差别,也就没有左右手的区别。在图7-9中,可见到手在镜中影像对称和反对称的说明。好,现在我们把这个原理应用在发射出电子的一组粒子上。如果向所有方向发出的电子数都一样,这些粒子当然不会有手征性问题,但是如果大部分的电子倾向于一个特殊的方向,比如说是往上的比往下的多吧,那么这些粒子便是不对称。它表现出手征性,因为如果我们观察镜中的发射情况,这个特殊方向恰好被反转过来。

现在要做的是观察在弱相互作用中发射出电子的一些粒子,例如某些以β辐射进行衰变的粒子,看看电子的发射是否会有一优先的方向。李政道和杨振宁要求在哥伦比亚大学工作的实验物理学家吴健雄进行这个实验。

吴健雄安排了所需的实验条件,她把所有发射电子的原子在同一方向排成一列,以便探测各个方向的电子发射;探测方式是使用电磁场,而且放射性物质保持在接近绝对零度。

在48小时内,实验的结果出来了,电子确实不是对称的发射。宇称守恒在弱相互作用中并不适用。于是θ介子和τ介子实际上是同一粒子,只是有时以奇宇称衰变,有时又以偶宇称衰变。很快,其他实验也证明了宇称的错误。这两位理论物理学家——李政道和杨振宁,因为这个有胆略的猜测,1957年荣获诺贝尔物理学奖。

既然在弱相互作用中对称性并不正确,或许在其他地方也不



7-9 用手说明镜像对称与反对称

适用。整个宇宙或许是左手性的,或许是右手性的。或许真有两个宇宙,一个左手性,另一个右手性;一个由物质所组成,另一个则由反物质组成。

物理学家现在对守恒定律的态度变得有点犬儒哲学。因为任一守恒定律都可能像宇称守恒定律一样,在某些情况下适用,而在其他情形下却不正确。

宇称失效后,便和**电荷共轭**联成一个更为深入而普遍的守恒定律:**CP 守恒**。电荷共轭是亚原子粒子另一数学上的性质,这个性质决定 1 个粒子为粒子或是反粒子。CP 守恒的产生并非是空前的,我们将在下一章看到,质量守恒也服从于更深层、更具普遍性的**质能守恒**。

然而 CP 守恒也不完全正确。1964 年,两位美国物理学家 V.L.菲奇和克罗宁指出,在弱相互作用的少数情况下,CP 守恒并不成立。所以时间的方向性也被考虑进去,而称之为 CPT **对称**。因此 V.L.菲奇和克罗宁在 1980 年共同得到诺贝尔物理学奖。

统一场论

为什么要有四种不同的力场、四种不同的粒子相互作用呢?当然也许不只四种,但是以科学上的观点来说,要求简单化已经根深蒂固。如果必须有四种相互作用,或更多,为什么这些相互作用不可能只是一个力场或是一个相互作用的不同表现方式呢?如果确实是这样,那么最好的方法是找出能够把它们全部表示出来的数学关系,这样或许也可以揭开一些在它们的性质中原来可能不知道的其他部分。例如在 100 年以前,麦克斯韦研究出一组可用于电学和磁学的数学方程式,而证明了电和磁是统一体的两面。现在我们就直接称之为**电磁场**。难道我们就没办法继续简化力场了吗?

爱因斯坦在只知道有电磁相互作用和引力相互作用的时代研究**统一场论**。他花了数十年的时间想结合这两种作用而终归失败,在他研究的过程中,两种短程力场也已被发现,使这项工作倍加困难。

然而在 20 世纪 60 年代末期,美国物理学家 S.温伯格和巴基斯坦的 A.萨拉姆各提出一个涵容电磁场和弱力场的数学处理方式,他们把这两种场合称为**弱电场**。这个处理方式后来为温伯格的高中同学——美国物理学家格拉肖所完成。这个理论预测电磁场相互作用和弱相互作用都应该会表现出**中性流**——某些不交换电荷的粒子相互作用。这个预测是过去所未知的,后来在寻找中发现,其中某些作用和预测的结果完全相同,这是支持这个新理论的一个有力证据。温伯格、萨拉姆和格拉肖共同获得了 1979 年的

诺贝尔物理学奖。

弱电理论也提出了弱相互作用中丢失交换粒子(半个世纪未找到这种粒子)的细节。它们应该不只是1种W粒子,而是3种:W^+、W^-和一种标为Z^0的粒子;即一种正,一种负,一种是中性的。只要弱电理论是正确的,连这些粒子的某些性质都可被详细叙述出来。例如,它们的质量应该是质子的80倍,这可解释为什么它们如此无从捉摸,因为需要庞大的能量才能探测到它们的存在。这种粒子的巨大质量使弱相互作用的范围非常小,以致使两个粒子不可能彼此接近而产生弱相互作用,这可解释为什么弱相互作用比强相互作用弱得多。

直到1983年,物理学家才掌握到足够高的能量,而终于发现了这三种粒子,质量和预测的完全相同。这项发现使弱电理论的地位更加巩固。

同时,很多物理学家认为,包含电磁场和弱力场的同一个数学体系,也足以涵容强相互作用,当然不可避免地会增加一些复杂性。现在已经提出数种包含这3种相互作用的理论。如果弱电理论是个统一理论,那么同时包含了强相互作用的理论便可称为**大统一理论**,通常缩写为**GUTs**(因为这种理论不只一个)。

如果将强相互作用纳入GUTs,那么除了胶子外,一定尚有12种以上超重的交换粒子存在。因为它们比W粒子和Z粒子重得多,所以将更难探测到,以我们现在的能力更是没有找到的希望。它们所造成的力场范围,将比目前所考虑到的任一个力场都短得多。这些超重交换粒子所造成的力场范围,小于原子核直径的10^{-18}。

如果这些超重交换粒子存在,它可能在质子中由一个夸克传递到另一个夸克。而这种转移可能会湮灭其中一个夸克,使这个夸克变成一个轻子。若质子中的一个夸克去掉了,将使质子变成介子,最后衰变成正电子。

但是,除非夸克(是个点粒子)之间的距离紧密到这些交换粒

子的作用力程内,不然这种交换是不会发生的。因为作用力程实在是无法想象的小,即使在质子大小如此紧密的距离内,这种交换作用还是不会发生。

事实上,已经计算出来,这种交换作用发生的次数实在是非常稀少,所以质子**平均**可存在 10^{31}年后才会发生衰变。质子的寿命是宇宙目前年龄的 6×10^{20}倍。

当然,10^{31}年是平均寿命。有些质子存在的时间更长,有些则较短。所以只要所研究的质子够多,每秒中总会有很多次的质子衰变发生。比如说地球的海洋中每秒约有 30 亿个质子发生衰变。听起来好像很多,但是和海水中质子总数相比,实在是微不足道。

物理学家急于要把质子衰变从其他发生次数远为庞大的相似衰变中清楚地区分出来。如果质子衰变能探测到的话,将成为 GUTs 的一大证据;但是探测质子衰变和探测引力波一样,都是在可能性非常有限的情形下进行的,因此无论是引力波还是质子衰变的探测,显然都尚需一段相当长的时间才可能完成。

这些新的统一理论可以用来研究宇宙开始时大爆炸的详细情况。就在大爆炸的一刹那,宇宙刚刚开始,存在小于 10^{-42}秒,体积比一个质子小得多,温度高达 10^{36}度,此时只有一种力场,一种粒子相互作用。随着宇宙的膨胀,温度下降,于是“冻结出来”不同的场。

我们可以想象,地球在极热的时候只是个气体构成的球体,每一部分都有相同的性质和同样混合均匀的原子。随着气体的冷却,不同的物质由液体变固体逐渐分开,最后变成一个很多不同物质分离地存在的球体。

引力相互作用到目前为止仍然不肯让步。似乎没有任何办法能把引力作用包含在温伯格等人所研究的庞杂的数学体系之中。统一场论爱因斯坦未能完成,他的所有继承者们迄今也未取得任

何成果。

虽然如此,GUTs仍提出了相当令人感兴趣的问题。物理学家们对大爆炸为什么能形成含有众多星系和星体的浩瀚的宇宙仍然感到疑惑不解。为什么大爆炸的产物不能简单地朝四面八方扩散成巨大的气体尘埃云呢?还有,为什么宇宙如此密集以致我们无法确定它是开放还是闭合呢?宇宙可能开放过(负弯曲)或闭合过(正弯曲),但现在却几乎是扁平的。

在20世纪70年代,美国物理学家古思主张,在大爆炸发生的初期,有一段膨胀极为迅速的时期。在这样的**膨胀宇宙**中,温度下降得很快,来不及使不同的场分开或不同的粒子形成。在宇宙已经变得相当大的膨胀后期,这些差异才发生,宇宙也渐呈扁平,然后才成团。GUTs是仅由粒子推导出的理论,如果恰好能解释宇宙诞生的两个谜,就会有力证明GUTs是正确的。

诚然,膨胀宇宙的说法并未解决所有的问题,不同的物理学家正以不同的方法予以修正,使预测和实际更能符合。不过这项工作才刚刚起步,我们可预见将来一定会有某种完美的GUTs和膨胀理论出现。或许将来也会有人把引力作用包含在这个理论中,而最终完成统一场论的工作。

(陈崇光 译)

第八章 波

光

前面所讨论的是有形的事物,从大如银河到小如电子几乎都已包含。然而还有一些重要的无形的事物未曾论及,其中人们知道的最早而且最广为欣赏的就是光。《圣经》上上帝说的第一句话就是"要有光",创造太阳和月亮主要是作为光源:"要发光在天空,普照在地上。"

上古及中古时代的学者对光的性质可以说是一无所知。他们猜测光是由发光的物体或者是由眼睛本身发射的微粒组成的。他们所提出惟一的事实便是光以直线方式前进,也就是当光束照射镜子而反射时,入射角等于反射角;另外,当光束从空气进入玻璃、水或其他透明物质时会产生弯曲,也就是我们所说的**折射**现象。

光的性质

当光束以倾斜的角度射入玻璃或其他透明物质时,光束总会被折向与法线成一较小角度的路径。入射角与折射角间的精确关系,是在 1621 年由荷兰物理学家斯涅耳首先计算出来的。当时他并没有公布自己的发现,而另一位法国哲学家笛卡儿于 1637 年独立地发现了这一定律。

第二章中已经提到,1666 年牛顿对光的性质率先做了一系列

重要实验。

他使一束阳光透过百叶窗的细缝进入黑暗的房间，并让光线射到一块长方形三棱镜上。进入三棱镜的光束受到折射，而后从三棱镜的第二个面出来时又向相同的方向进一步折射（这是由于三棱镜的两个边呈一夹角而不像通常的玻璃片那样两边是平行的，因此能使两次折射沿相同方向）。牛顿将这些透过三棱镜射出的光束照射在一白色屏幕上，借以观察增强折射的效果。他发现，所形成的不再是白光点，而是一条分成条状的颜色带，以红、橙、黄、绿、蓝、紫的顺序排列。

牛顿由此推断，一般所谓的白光是由数种不同的光混合而成，这些不同的光会分别影响我们的眼睛而产生不同的色觉。而那些条状的颜色带，看起来虽然是那么具体实在，事实上却是无形的，如同鬼魅一般，牛顿因此命名它为**光谱**，源自拉丁语“鬼魅”。

牛顿断定，光是由高速运动的**微粒**组成的。这样就能解释光为什么直线前进并产生明显的阴影。光会被镜子反射是因为微粒被镜面反弹之故，而光在进入玻璃、水等折射物质时路径会曲折，则是因为光在这类介质中的运动速率比在空气中要快。

然而，还是有一些棘手的问题。比如说，为什么绿光微粒比黄光微粒折射得要多呢？为什么两束光能交叉通过却不会互相影响——也就是说粒子为什么不会碰撞呢？

1678 年，荷兰物理学家惠更斯（一位多才多艺的科学家，曾制造第一个单摆时钟，在天文学方面也有重要贡献），提出一个相反的理论，他认为光是由小的波动所组成。假如光是由波所组成，只要假设光在折射介质中的运行比在空气中来得慢，那么，解释不同的光透过折射介质而有不同程度的折射就一点困难也没有了。折射的程度与波长有关：波长愈短，折射程度愈大。因此紫光（折射最多者）要比蓝光波长短，蓝光又比绿光短，依此类推。惠更斯认

为,正是波长的不同才使眼睛看到不同的颜色。同时,假如光由波所组成,两束光自然能毫无困难地交叉而不互相干扰(人们知道,声波或水波交叉后是不会改变特性的)。

但是惠更斯的理论也并不是非常令人满意的。它并没有解释光为什么以直线前进并投射出清晰的阴影,也无法说明为什么光不能像水波及声波那样绕过障碍物。此外,假如光由波组成,光怎么能在真空中运行?比方说光从太阳和星星发出经过空间而到达地球,又是什么介质使光波动的呢?

上述两种理论几乎僵持了一个世纪。牛顿的**微粒理论**遥据上风,一方面是因为总的来说它较合逻辑,一方面则是靠牛顿的鼎鼎大名。但是,1801年英国医师兼物理学家T.杨做了一项实验,使人们的观念发生了转变。他让一窄光束穿过距离极近的两个小孔而投向后方的屏幕。假如光真是由粒子组成,那么透过小孔而投射到屏幕上的两束光应该是重叠区域较亮,不重叠区域较暗,但是T.杨发现事实并非如此。屏幕上产生一系列亮带,亮带间则夹有暗带。在这些暗区内,似乎是两束光叠加成了暗色。

波动理论就能轻易地解释这一现象了!亮带表示一束光波为另一束所增加;也就是说,这两组光波是**同相**的,波峰与波峰叠加而相互加强。换句话说,暗带则是代表**反相**,波峰被抵消,也就是在该处彼此相互干扰,使净光能为零。

从光带的宽度及两个小孔间的距离,我们就能计算出光的波长——比方说,红光、紫光或介于其间的各色光的波长,后来发现算出来的波长是相当小的。例如,红光波长算出来大约是0.000075厘米。光波的波长以**埃**为单位,1埃是1厘米的10^{-8}。因此,光谱一端的红光波长约为7500埃;另一端的紫光约为3900埃;而可见光谱的其他色光的波长则介于其间。

光的波长极短是很重要的。光能以直线进行并投射出清晰的

影子，就是因为光的波长较一般物体要小得无法相比。只有那些比光的波长大不了多少的障碍物，光波才能绕过去。举例来说，甚至细菌都要比光的波长长得多，这就是为什么我们能用光学显微镜清晰地观察到细菌的原因。只有那些大小接近光波波长的物体（如滤过性病毒或其他亚微观粒子），光才能绕过。

若障碍物足够小，光波确实能绕过去，这是1818年法国物理学家菲涅耳证实的。在这种情形下，光产生了所谓的**衍射**花样。举个例子来说，**衍射光栅**面上那些精细刻画的平行线就起着一系列彼此增强的微小障碍物的作用。因为衍射量取决于光的波长，所以产生出光谱。从光谱中任一部分或任一颜色光的衍射程度和从光栅玻璃上刻画的平行线的已知间距，也能计算出光的波长。

夫琅和费是使用这类衍射光栅的先驱者，但这项创举却为自己另一项更为出名的成就所掩盖，那就是他发现了光谱线。美国物理学家罗兰发明了凹面光栅，并发展了在光栅上的刻画技术，使2.54厘米内能刻有20000条线。他的这项成就在光谱学中取代了三棱镜。

由于这些实验的成果，以及菲涅耳系统地解决了波动的数学问题，光的波动论似乎已经确立，而粒子论则一败涂地——这显然已成定局。

不仅光波的存在为人所接受，波长的测量也越来越精确。1827年，法国物理学家巴俾涅建议用光的波长——一项不变的物理量——作为长度的测量标准，以代替当时使用的各种带有随意性的标准，这项建议直到18世纪80年代才有其可行性，当时，德国血统的美国物理学家迈克尔孙发明了干涉计，能非常精确地测出光的波长。1893年，迈克尔孙测出镉光谱中红线的波长为1/1553164米。

在发现元素是由不同的同位素组成，而每种同位素释放的射

线波长略有不同时,用光的波长测量仍存在着不确定性。然而,随着20世纪的到来,同位素的光谱线已经可以单独地测量出来了。20世纪30年代,已测得氪-86的光谱线。这种同位素是一种气体,在低温下原子运动缓慢,这时测量,其光谱线才显得锐细不宽粗。

1960年,国际度量衡会议把氪-86谱线定为长度基准。一米重新确定为这一光谱线的1 650 763.73波长。这项标准把长度测量的精确度提高了上千倍。旧的标准米尺棒顶多只能量到10^{-6}米,而光波可以量到10^{-9}米。

光速

很明显,光是以极高的速率前进。假如你随手关掉灯,就会发现四周立刻漆黑一片。声波的运动就没那么快了。假如你看到远方有人在劈柴,你会发现斧头劈下后好一会儿才听到声音。声音显然是经过了一段时间才传到耳中。事实上,声音的传播速率很容易测定,在海平面的空气中,是每秒332米(1 090英尺),即每小时1 200公里(750英里)。

伽利略是第一位尝试测定光速的人。他和助手分别站在两座山上,开始时伽利略先将自己手提灯笼上所盖的布揭开,助手看到光后也立刻揭开身旁灯笼的布。伽利略以愈来愈长的距离做实验,并假设助手反应时间是始终如一的,那么他揭开自己灯笼再看到助手回应的闪光,这段间隔所增加的时间,就是光要走额外距离的所用的时间。这个想法很好,但是光速实在太快了,伽利略这种粗糙的方法根本测不出任何的差值。

1676年,丹麦天文学家罗默反而成功地以天文距离测出了光速。在观察木星的四个大卫星的星食状态时,罗默发现木卫食的时间间隔随地球在公转轨道上远离木星而依次增长,而随地球接

近木星而减短。罗默推测,木卫食的时间差值反映了地球与木星之间距离的差值,换句话说,木卫食的时间差值可以说是光在这段时间里从木星传到地球所走距离的一种量度。罗默将木卫食发生的最大时间差值作为光扫过地球轨道全宽所需的时间,并根据对地球轨道大小的粗略估计,便算出了光速。他的估计为每秒212 400公里(132 000英里)。就第一次的尝试而言,已是相当接近实际光速了,但是,这个数值已大得使罗默的同代人不敢相信了。

罗默的实验结果经过半个世纪后,从一个完全不同的方面得到证实。1728年,英国天文学家布拉德莱发现恒星的位置似乎因地球的运动而有所偏移——并不是视差之故,而是因为地球绕太阳运动的速度相对光速而言虽然很小,但仍然是可以测量到的。相似的情形可见于大雨中撑伞过街的时候,虽然雨滴垂直落下,但伞仍需向前斜撑,因为人是迎着雨走。走得越快,伞必须倾斜的越厉害。同样的道理,地球也是迎着恒星射来的光线前进的,天文学家必须将望远镜放得倾斜一点,还要随着地球运动方向的改变来调整望远镜的角度。根据倾斜的角度(即**光行差**),布拉德莱估计出光速约为每秒283 200公里(176 000英里)——比罗默的数据更大而且更准确,但仍比标准值低了约5.5%。

后来,科学家们改进了伽利略的原始构想,终于获得更为准确的数值。1849年,法国物理学家斐索装了一套设备,使闪光射到8公里外的镜子后再反射到观察者处。闪光在这段往返16公里的旅程所耗的时间仅为1/20 000秒,但斐索却有办法量出来。他把一个快速旋转的齿轮放在光束经过的途中。当齿轮以固定速率旋转时,由两齿间通过的闪光被镜子反射回来会碰到下一个齿上,因此在轮子后面的斐索就无法看到反射回来的闪光了。当轮子逐渐加速旋转时,反射回来的闪光就不会被挡住而会通过另外两齿间

的空隙(见图8-1)。如此,以这种控制和测量轮子转速的方法,斐索就可获得光来回经过的时间,从而计算出光速。结果,他测出的光速约为每秒315400公里(196000英里),比实际高约5.2%。

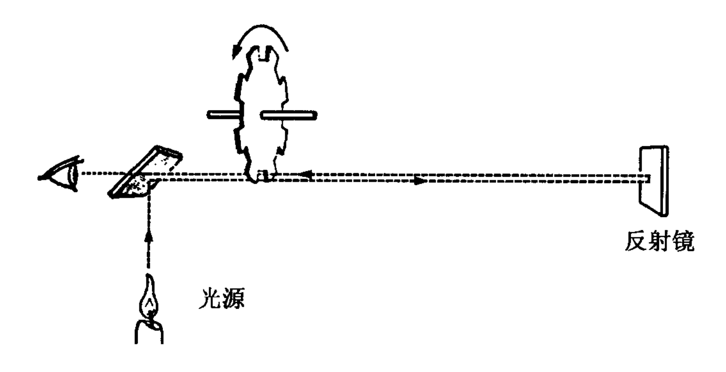


图8-1 斐索测定光速的装置。光被靠近光源的半透射镜反射,穿过高速旋转的齿轮的一个齿隙,到达远处的反射镜(图的右边),再反射到相邻的齿或齿隙

一年后,傅科(此时即将进行他的单摆实验,见第四章)以一面旋转的镜子代替齿轮,使测量的精确度再度提高。现在光所经过的时间是以快速旋转的镜子的反射角的少许改变而量得的。1862年,傅科所测得一次最好结果——光在空气中的速率是每秒297700公里(185000英里),比实际光速仅低0.7%。此外,傅科还利用他的方法来测定光在不同液体中的速率。他发现光在液体中的速率要比在空气中的光速小得多,这也与惠更斯的波动理论相符。

光速的测量由于迈克尔孙的努力而更趋精密。他从1879年起改进斐索和傅科的方法,经过了40多年,终于让光通过真空而不是空气(即使空气也会稍微减慢光速)。迈克尔孙用一根长达1.6公里并抽成真空的金属管,测得光在真空中的速度为每秒

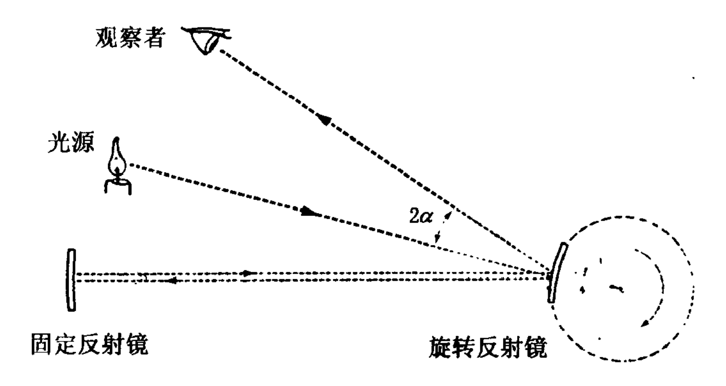


图 8-2 傅科测定光速的方法。他利用旋转的镜子代替了斐索的齿轮，因而通过镜子旋转的角度即可求出光速

299 710 公里(186 271英里)，比实际光速只低了 0.006%。他还证实各种不同波长的光在真空中的速度都是一样的。

1972 年，埃文森所领导的实验小组，以更精密的方法测得光速为每秒 299 728.367 公里(186 282.395 9 英里)。一旦如此精确地知道了光速，用光或光的各种形式来测量距离就有可能了(即使对光速还没有如此精确测定时，也是可以这么做的)。

雷达

假设有一个短的光脉冲向外传播，碰到了某个障碍物反射回来，被瞬间前的发射处接收到。若要满足这些条件，所需的是一种波动形式，这种波的低频能穿透雾、雨及云层，其高频则能有效地被反射。我们发现微波的波段最理想，波长介于 0.5 厘米～101.6 厘米(0.2 英寸～40 英寸)之间。根据脉冲发射后经反射到接收的时间，就可以估计出与反射物体之间的距离。

很多物理学家曾致力于应用此原理的设备，但是苏格兰物理学家沃森-瓦特却是第一位使之实用的人。1935 年，他已能利用

微波的反射来追踪飞机,这套系统称为**无线电探测与测距**,按英文短句的字首缩略而成**雷达**(目前,世界上使用缩略语愈来愈普遍,特别是在科技方面)。

全世界开始知道雷达是在不列颠战役,当时英国人不论夜晚或云雾都能侦测出纳粹飞机的来袭。所以英国的胜利至少有雷达的一份功劳。

第二次世界大战后,雷达开始有许多和平用途。在天气预报方面,它能用来探测暴风雨。同时还揭开了被称做**天使**的神秘反射的面纱,原来这些"天使"并不是天上的使者,而是一群鸟,因此,现在雷达也用来研究鸟类的迁移。

而且,如第三章所述,由金星和水星所得的雷达反射,使天文学对这些行星的运转有了更新的认识,特别是提供了金星表面性质的资料。

穿过空间的光波

虽然光的波动性质日渐明显,物理学家却仍为一个烦人的问题所困扰。光在真空中究竟是如何传播的呢?其他的波,比如声波,需有媒质才行。声波是由媒质的分子或原子前后振动来传播的,通过振动我们才能听到声音(在地球上,我们绝对听不到来自月球或太空的任何爆炸声,声音即使再大都没有用,因为声波无法通过真空的空间)。然而光的传播不需要媒质,甚至没有媒质更容易传播,而且可以从数十亿光年距离外的星系传到地球。而我们知道,太空中是没有媒质可波动的。

经典的科学家对"超距作用"总是感到困扰。举例来说,牛顿就对万有引力能透过空间施力感到烦恼。为了寻求可能的解释,他只好再次提出一个希腊式的想法,认为整个天空充满了以太,并推测万有引力是由以太以某种方式传播的。他避开光的问题,直

接假设光是由高速运动的微粒所组成,但当光的波动论逐渐被证实时,他的这个构想就失败了。

为了说明光波能穿过太空,科学家们认定,光波同样必须借助所谓的以太才能传播。他们创造出**传光(载光)以太**这个名词。但这种说法立刻就陷入困境。光波是一种**横波**,它的波动与行进方向垂直,好像水面的涟漪;相反的,像声波之类的**纵波**是沿行进方向前后振动。现在的物理理论认为,只有固态媒质才能传播横波(水面的横波是一个特例,但它不能穿透液体本身)。因此以太必须是固态,既非液态又非气态——而且必须是非常刚硬的固体!要传播光这么快的速度的波,它必须比钢更具刚性。此外,刚性的以太还必须散布于日常的物质中——不仅充满真空,还要渗入气体、水、玻璃以及其他一切光线能穿过的透明物质。最重要的是,这种固态的超刚性的媒质必须是毫无摩擦而易于屈服的,以致它丝毫不干扰最小的小行星运动或是眼睑的眨动!

然而尽管以太这一概念带来很多困难,它似乎还是有用的。法拉第这位没有数学学历但极具智慧的科学家,提出了**力线**的概念(沿同一力线的磁场强度相同)。他把力线想象为是以太的弹性畸变,因此也用以太来解释磁现象。

在 19 世纪 60 年代,极为推崇法拉第的麦克斯韦,致力于以数学分析来说明力线。他导出了四个简单的方程,这些方程几乎描述了所有有关电和磁的现象,而且在 1864 年改进后,不但可描述电磁现象之间的关系,并证明电与磁是不可分的。哪里有一个电场,则在其垂直方向上必定也同时有一个磁场,反之亦然。事实上,只存在单一的电磁场(这就是对下一世纪的全部工作有极大影响的最初的统一场论)。

麦克斯韦在探讨方程的含义时,发现电场的改变必定引起磁场的改变,而磁场的改变又必定引起电场的改变,依此持续下去。

这种交替变化使整个电磁场沿各个方向向外传播,结果产生了具有波形性质的辐射。简言之,麦克斯韦预言了与电磁场变化频率相同的**电磁辐射**的存在。

麦克斯韦甚至能够计算出电磁波的运动速率。他的做法是,求出方程中与电荷间的力及磁极间的力有关的某些对应值之比值,结果与光速完全相同。麦克斯韦认为这不仅仅是一个巧合。光是一种电磁辐射,此外还有比普通光的波长长得多或短得多的其他辐射,而所有这些辐射都与以太有关。

磁单极

然而,麦克斯韦方程留给我们一个至今尚未解决的难题。方程强调电磁现象是完全对称的:对其一符合的对另一个也必然符合。但在一个基本方面,二者似乎是有差别的,这种差别随着亚原子粒子的发现与研究更加令人困扰。带有正电荷或负电荷但不是同时带有两种电荷的粒子是存在的。因此,电子只带负电荷,而质子只带正电荷。同样的道理,难道粒子不能仅带北磁极或南磁极吗?然而,对于磁单极的寻找,长久以来都是徒劳无功的。每个物体——不论大小,是星系还是亚原子粒子——都同时带有北、南两个磁极。

1931年,用数学的方法研究这一问题的狄喇克断定,磁单极若存在(即使全宇宙仅存在一个),则所有的电荷必须正好是某个最小电荷的倍数——事实上确实如此。既然所有的电荷都正好是某个最小电荷倍数,那么磁单极为什么不能存在呢?

1974年,荷兰物理学家胡夫特和苏联物理学家波利亚柯夫各自从大统一理论推断出磁单极必定存在,并且它们的质量一定很大。虽然磁单极可能比质子还小,但它的质量却可能为质子的10^{16}倍~10^{19}倍。假如全挤入一个亚原子粒子内,它的质量将和细

菌差不多。

这种粒子只有在大爆炸时才可能产生,此后再没有一种足够大的富集能量来形成磁单极。这些巨大的粒子可能以每秒240公里(150英里)运行,巨大的质量和微小的体积组合在一起,可以使磁单极穿越物质不留任何痕迹。这种性质可能就是磁单极迄今尚未被探测到的原因!

然而假如磁单极穿过一线圈,它就会使线圈产生瞬间的电流脉冲(这是法拉第首先演示的有名现象,见第五章)。假如线圈放在常温中,脉冲闪失太快无法测得。假如此线圈是超导的,那么只要温度足够低脉冲就能维持。

斯坦福大学的物理教授卡伯雷拉做了一个超导的铌线圈,并把它与杂散磁场完全隔离,然后等了4个月。在1982年2月14日下午1点53分时,线圈突然产生一股电流,几乎与磁单极通过时所产生的电流完全相同①。物理学家们正在设法建立能肯定这一发现的装置,要等到他们成功,我们才能说磁单极已被探测到了。

绝对运动

我们再回头看看那无往不克的以太理论,它终于在一项实验中惨遭失败。这项实验是为了证明另一个与超距作用一样困扰的问题——**绝对运动**而进行的。

19世纪时,事情已经很清楚,太阳、恒星以及宇宙中所有物体都在运动。那么,在哪里才能找到一个静止的参考点,一个能确定绝对运动(牛顿运动定律的基础)的**绝对静止**的参考点呢?其中有一种可能,牛顿曾提出,空间结构本身(可能是指以太)是静止的,

---

① 由于这一实验在以后的多次实验中未被重复,因此已否定这一实验的真实性。——译注

因此人们可以说**绝对空间**。如果以太是静止不动的,也许人们可以从确定物体与以太的相对运动来找到物体的绝对运动。

19世纪80年代,迈克尔孙提出一个精妙的构想来看到底是否如此。他推理说,若地球真是穿过静止的以太运动,那么一束光沿其运动方向射出再反射回来通过的距离,应比垂直运动方向射出再反射回来为短。为了证实这一构想,迈克尔孙发明了"干涉仪"。这种装置有一面**半透射镜**,能使迎面射来的光束一半透过,另一半呈直角反射出去。然后再用两面镜子将这两束光反射到光源旁边的目镜中。如果一束光运行的距离比另一束稍长,到达目镜时就会有相位差而形成干涉带(见图8-3)。这个仪器对长度差

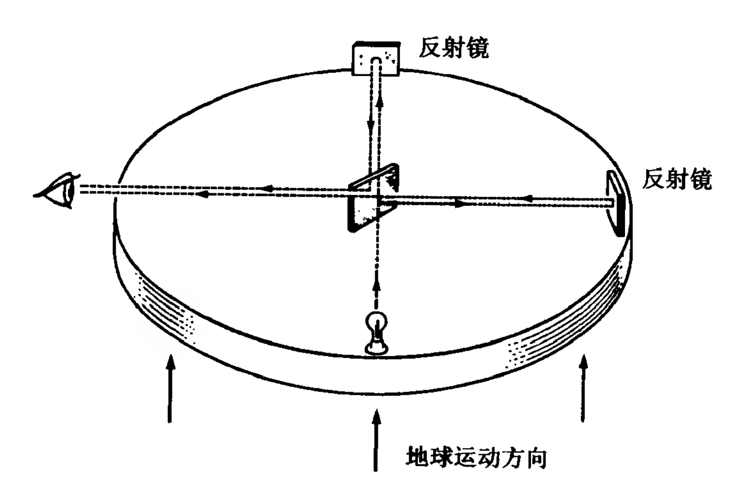


图8-3 迈克尔孙干涉仪。一面半透射镜(图中央)将光束分为两半,一半被镜面反射,一半穿过镜面一直向前。如果两面反射镜(右边和正前方)反射的光束所行的距离有差别,那么两束反射回来的光到达观察者处就反相位

的测量极为灵敏——事实上灵敏到能测量出植物每一秒钟生长多少,甚至能测出连最大的望远镜看去也仅为一些无线度点的星球

的直径。

迈克尔孙的计划是,让干涉仪相对于地球的运动指向不同的方向,再根据分开的光束与反射回来的光束反相位的多少,来检验以太的效应。

1887年,在美国化学家莫利的协助下,迈克尔孙做了一套特别精巧的实验设备。他们把仪器安置在浮于水银面上的石板上,因而仪器能够朝任何方向平滑地随意转动,然后朝着与地球运动不同的各个方向投射光束。结果发现竟然没有任何不同!不论迈克尔孙和莫利把仪器指向什么方向,也不论他们做多少次实验,干涉带都不改变(这里要说明的是,近来人们以同的方法用更精密的仪器进行实验,仍然得到相同的否定结果)。

物理学的基础动摇了。或是以太随地球一起运动,这是毫无意义的;或是也许根本就没有以太这种东西。不管是哪一种情况,绝对运动或绝对空间都不存在。于是牛顿的物理学失去了根基。但在通常的世界里,牛顿物理学仍然适用:行星仍按万有引力定律运动,地球上物体的运动仍然遵循他的惯性定律以及作用与反作用定律。只是他的经典理论不完整,而物理学家也要准备发现与经典“定律”相违背的现象。不论是新观察到的还是以前所观察到的现象,都是不会变的,但是用来解释这些现象的理论却需要扩展和改进。

迈克尔孙-莫利实验可能是整个科学史上最重要的一次“不能证实”的实验。迈克尔孙于1907年获得诺贝尔物理学奖——第一位美国人得到诺贝尔奖,虽然得奖并不特别是因为这个实验的关系。

相　对　论

洛伦兹-斐兹杰惹方程

1893年,爱尔兰物理学家斐兹杰惹提出一个新奇的解释,说明为什么迈克尔孙-莫利实验会得到否定的结果。他指出所有物体都会沿运动方向收缩,同时收缩量随运动速度而增加。根据这样的描述,干涉仪会在地球的"真正运动方向"上变短,其量恰足以弥补光束运动距离的差距。此外,包括人类感官在内的所有测量器具都有同样的"缩小"现象,因此,假如我们与物体一同运动,就无法测出缩小现象了。斐兹杰惹的见解令人觉得大自然好像为了不让我们测量绝对运动,故意产生一种效应,抵消我们可能用来探测绝对运动的一切差值。

这种恼人的现象被称为**斐兹杰惹收缩**。斐兹杰惹并由此导出一个方程。一个以每秒11.26公里(7英里)速度飞行的物体(现在最快的火箭大约就是这个速度),在飞行方向上的收缩比约仅为2/108。但是,在真正的高速时,收缩量就相当可观了。每秒150000公里(93000英里)时(光速的一半),收缩量是15%;每秒260000公里(163000英里)时(光速的7/8),收缩量是50%:也就是说,0.3048米(1英尺)长的直尺若以每秒260000公里的速度通过,我们会觉得它只有0.1524米(6英寸)长——前提是我们不随尺子运动以及我们知道尺子通过时如何测量。若在光速时,也就是每秒299784公里(186282英里),尺子在运动方向的长度为零。因为不可能有比零还小的长度,因此得到这样的结论,真空里的光速是宇宙中的最大可能速度。

荷兰物理学家H.A.洛伦兹随即把斐兹杰惹的想法更推进一步。根据当时所研究的阴极射线,洛伦兹推断,若是带电粒子的电

荷被压缩到一个较小的体积中,该粒子的质量将增加。所以飞行粒子若是在运动方向有斐氏收缩所引起的缩短,质量就会增加。

H.A.洛伦兹提出一个质量增加的方程,结果与斐兹杰惹的长度缩短方程极为类似。每秒 150000 公里时,电子质量将增加 15%;每秒 260000 公里时,增加 100%(也就是说,质量将加倍);若为光速时,质量为无限大。我们再一次发现要比光速更快是不可能的,怎么可能有比无限大还要大的质量呢?

斐兹杰惹的长度效应和 H.A.洛伦兹的质量效应彼此关系是如此密切,以致他们导出的方程常被合称为**洛伦兹-斐兹杰惹方程**。

一个静止的观察者测量随速度而引起的质量改变要比测量长度改变容易得多。电子质量与电荷的比值可由它在磁场中的偏转来决定。电子的速度增加,质量也会增加,但是没有理由认为电荷也会增加;因此,电子的质量与电荷的比值应当增加,而其路径将偏转得少。1900 年,德国物理学家考夫曼发现,这个比值随速度而增大的方式可以表明,电子质量的增加正好同洛伦兹-斐兹杰惹方程预测的一样。后来更精确的测量证实,两者是完全一致的。

在讨论光速为最大速度时,我们要记住,这是指光在真空中的速度(每秒 299784 公里),这是非常重要的。在透明媒质中,光运行得较慢。光在媒质中的速度是真空中速度除以该媒质的**折射率**(光束由真空中倾斜地进入媒质时折射程度的一种量度)。

在水中,折射率约为 1.3,光速就是 299784 除以 1.3,也就是约为每秒 230603 公里。在玻璃中(折射率约为 1.5),光速为每秒 199856 公里;而在钻石中(折射率 2.4),光速只有每秒 124910 公里。

辐射与普朗克的量子论

亚原子粒子在某种透明媒质中的运动速度有可能大于光在该

媒质中的速度(当然无法大于光在真空中的速度)。以此方式运动的粒子,会向后抛放浅蓝光的尾迹,如同超音速飞机会向后抛放声波尾流一样。

这些辐射现象是由苏联物理学家切伦科夫于 1934 年观察到的。1937 年,苏联物理学家 I. M. 夫兰克及塔姆提出了理论上的解释。这三个人于 1958 年因此分享了诺贝尔物理学奖。

人们为了探测**切伦科夫辐射**设计了粒子探测器,这种**切伦科夫计数器**特别适于研究高速粒子,例如构成宇宙射线的粒子。

正值物理学的基础因迈克尔孙-莫利的实验及斐兹杰惹的收缩现象而动摇不稳时,又发生了第二个爆炸性事件。这回令人头痛的问题是物质加热后所产生的辐射。虽然目前所谈的辐射形式皆为光,但科学家们称之为**黑体辐射**,就是说,他们在设想一种能完全吸收所有的光的理想物体——像黑色物体一样完全不反射光,反过来,也会理想地放出波长范围宽广的辐射。奥地利物理学家斯忒藩在 1879 年证实,一个物体发射的总辐射仅与其温度有关(与物质特性无关),而且,在理想状态下,总辐射与其绝对温度的四次方成正比;换句话说,绝对温度加倍将使总辐射增大为 $2\times2\times2\times2$倍或 16 倍(**斯忒藩定律**)。同时还知道,随着温度的增加,主要的辐射会向较短波长移动。比方说,假如我们加热一块金属,最初放射的主要为不可见的红外线,加热后是暗红色光,再后是鲜红色、橙黄色、黄白色,最后,若是保持不被蒸发,发出的将是青白色的光。

1893 年,德国物理学家维恩研究得出一种理论,以数学方法表示黑体辐射的能量分布——即每个特定波长范围释放的能量分布。这个理论提供了一道公式,能把光谱中紫光区域的能量分布描述得很精确,但对红光区域却不佳。维恩由于对热的研究的殊多贡献,而于 1911 年得到了诺贝尔物理学奖。在另一方面,英国

物理学家瑞利勋爵和金斯也导出一道方程。这个方程能适于红光区域的能量分布，但在紫光区域却完全无效。简言之，到现在为止最好的理论只能解释光谱的一半或另一半，但无法完全解释。

德国物理学家普朗克解决了这个问题。他发现，若要让方程与事实相符，必须引用一个全新的观点。他认为辐射是由许多小单位所组成，正如同物质是由原子所组成一样。他把这种辐射的单位称为**量子**(拉丁原文意指“有多少?”)。普朗克主张，辐射仅能以整数的量子来吸收。此外他还主张，量子的能量由其波长所决定，波长愈短，量子的能量愈大。换句话说，量子的能量与波长成反比。

现在可以把量子和某种辐射的频率(每秒中发射的波数)直接联系起来了。辐射频率和量子能量一样都与辐射的波长成反比。波长愈短，一秒钟内发射的波数愈多。若频率与量子能量皆与波长成反比，那么频率与量子能量将互成正比了。普朗克将这种关系用一方程来表示(此方程现在极为有名)：

$$e = h\upsilon$$

符号 e 代表量子能量；υ(希腊字母 nu)代表频率；h 是**普朗克常数**。这样就把量子能量与频率的比例关系表示出来了。

h 的数值极小，量子也是极小的。辐射的单位小到让人觉得光是连续的，如同日常物质看起来是连续的一般。但在 20 世纪初，辐射遭到和物质在 19 世纪初同样的命运：现在人们才承认它们是不连续的。

普朗克的量子论澄清了温度与辐射波长的关系。紫光的量子能量为红光量子的两倍，因此，产生紫光量子自然要比产生红光量子需要更多的热量。根据量子理论推导出来的方程，能够十分精确地解释光谱两端的黑体辐射。

后来普朗克的量子论发挥了更大的作用：它能说明原子、原子

内的电子、原子核内的中子等粒子的行为。现在,我们常把量子论之前的物理学称为**经典物理学**,而把量子论之后的物理学称为**现代物理学**。普朗克于1918年获得诺贝尔物理学奖。

爱因斯坦的粒波理论

当普朗克于1900年首次发表他的理论时,并未使物理学家留下深刻的印象。因为这个理论太革新了,人们一下子接受不了。普朗克本人似乎也被自己的发现所震惊。但事隔五年,一位年轻的德国出生的瑞士物理学家爱因斯坦证实了量子的存在。

德国物理学家P.勒纳曾发现,当光撞击某些金属时,会使金属表面放出电子,好像是光的力量把电子从金属表面给赶了出来。P.勒纳将此现象命名为**光电效应**,并因此项发现于1905年荣获诺贝尔物理学奖。当物理学家们也从事这个实验时,他们惊奇地发现,增加光束强度并不会使被赶出来的电子增加任何能量。但改变波长就有影响了。比方说,蓝光就比黄光更能使被赶出来的电子速率更快些。一束微弱的蓝光确实比一束强烈的黄光赶出来的电子少,但蓝光赶出的电子却总是比黄光赶出的电子速率大。此外,不管是多强烈的红光,对某些金属就是无法把电子赶出来。

所有这些现象都不能用原有的光学理论来解释。为什么蓝光能做的事情,红光却不能?

爱因斯坦从普朗克的量子理论中找到了答案。电子要想吸收足够能量来脱离金属表面的话,撞击它的量子要有某个特定的极小量值。若原子吸持电子的能力很弱(如在铯金属中),红光的量子就够了。若原子吸持电子的能力较强,将需要黄光或蓝光,甚至紫外线。不管是哪一种情况,量子能量愈大,赶出来的电子速度就愈大。

在此,量子理论轻而易举地解释了一种物理现象;而量子理论

以前的光学理论却无能为力。量子力学在其他应用上也日益突出,欣欣向荣。爱因斯坦由于对**光电效应**的解释(不是因为相对论),于1921年获得诺贝尔物理学奖。

爱因斯坦于1905年提出狭义相对论。这是他在瑞士专利局担任检验员期间利用业余时间研究出来的。他发展了量子理论,提出一个新的宇宙基本观点。他认为光是以量子的形式在空间运行(光的基本单位**光子**这个词是康普顿于1928年提出的)。于是,光由粒子组成的概念又复活了。但这是一种新的粒子:它兼具波动与粒子的性质,有时表现出波动特性,有时则表现出粒子特性。

这种说法曾经被认为是一种谬说,甚至被认为是一种玄想,好像光的真正性质是完全不可能理解的。事实完全相反,让我举个类似的情形吧:一个男人也有其多面性——丈夫、父亲、朋友、商人,只是看在哪一种情况下罢了。你总不能希望他以父亲的举止来对待顾客,或以商人的举止来对待妻子,而事实上他既不是矛盾体,也不是两个人。

同样的道理,辐射兼具微粒与波动的性质。在某些方面,微粒性质特别明显,在另一些方面,波动性质又特别明显。约在1930年时,玻尔率先提出一项理论,认为测量辐射波动性质的实验绝对无法用来探试其粒子性质,反之亦然。一次只能处理一个问题,无法二者兼顾。他称此为**互补原理**。这种双重性质比任何一种单一性质更能令人满意地解释辐射。

光的波动性质的发现带来了19世纪所有光学上的成就,其中包括光谱学。但它也迫使物理学家设想出以太的存在。现在爱因斯坦的粒波观点保住了19世纪的全部成就(包括麦克斯韦方程),却不必假设以太的存在了。我们可把辐射能穿过真空归因于其粒子性,于是已被迈克尔孙-莫利实验否定的以太的观点现在可以被埋葬了。

爱因斯坦在他的狭义相对论中还提出了另一个重要的观念:不论光源的运动如何,真空中的光速恒定不变。在当初牛顿的宇宙观中,向着观察者移动的光束看来应比向任何其他方向移动的光束速度要快。而在爱因斯坦的观点中,这是不可能发生的,他并借此假设导出了洛伦兹-斐兹杰惹方程。他证明,H.A.洛伦兹只用于带电粒子的质量随速度而增加的理论,能适用于任何其他物体。爱因斯坦还推论,速度的增加不仅会使长度收缩与质量增加,还能把时间变慢,换句话说,随着直尺的缩短,时钟也会走得慢些。

相对论

爱因斯坦理论的基本点就是否定绝对时间与绝对空间的存在。下面的问题听起来似乎是在说胡话:假如没有一个起点,人类怎样了解宇宙万物呢?爱因斯坦的回答是:只要选择一个**参考系**,把它同宇宙的事件联系起来就行了。任何参考系(好比说,假设地球、太阳或者我们本身是静止的)都同样有效,我们可以选择最方便的一个。以太阳静止为参考系来计算星球的运行,较以地球静止为参考系要方便,但这并不表示这样做更准确。

因此,时间与空间的测量只是"相对"于某一任意选择的参考系而言——这也是爱因斯坦的理论称为**相对论**的原因。

为了便于说明,假设我们在地球上要观察某一奇怪的行星(X行星),大小和质量与地球相同,以每秒262 300公里(163 000英里)相对于地球的速度从我们面前呼啸而过。在冲过的瞬间若是能测量到它的大小,将发现它在运动方向上收缩了50%。它会是一个椭球而非圆球,同时,再经测量,质量将为地球的2倍。

但对X行星上的人来说,似乎他自己的星球是静止的,地球却以每秒262 300公里的速度**从他的面前**冲过,地球会呈椭球形并且质量是**他所在行星**的2倍。

我们会问,**到底**是哪一个行星收缩并质量加倍?惟一的答案是,看参考系而定。假如你觉得这样回答不好理解,那么,请你想一想:人比鲸鱼小得多却又比甲虫大得多,要问人到底是大还是小,就要看你是从哪一点来提问了。

由于这些不寻常的结论,相对论对宇宙中所有已知现象解释起来至少与以前的理论一样好。但它却更为深入:用牛顿观点难以解释甚至无法解释的现象,用相对论就很容易解释。因此,人们一直认为,与其说爱因斯坦学说取代了牛顿学说,不如说是改进了牛顿学说。牛顿的宇宙观仍然可以作为一种简化了的近似方法。它在日常生活中甚至于在普通天文学上仍非常适用,如将人造卫星送入轨道。但是在同步加速器中,加速粒子时,我们就必须考虑爱因斯坦的质量随速度而增加的观念,才能使加速器运转。

时间－空间及时钟的佯谬

爱因斯坦的宇宙观把时间与空间如此紧密地结合在一起,使得任一独立概念都变得毫无意义。宇宙是四维的,时间是其中之一维(但性质与通常空间的维长、宽、高不同),这种四维融合常被称为**时－空**。这个说法是由爱因斯坦的一位老师于 1907 年首次提出的,他就是 H. 明科夫斯基,一位俄国血统的德国数学家。

虽然相对论的奇妙提法适用于时间和空间,但爱因斯坦认为时钟会变慢这件事至今在物理学家中仍颇有争议。爱因斯坦认为,运动中的时钟比静止的走得要慢。事实上,所有随时间变化的现象在运动中都比在静止中进行得慢,好像时间变慢了一样。在普通的速率上这种影响根本看不到,但若速率为每秒 262 300 公里,在观察时钟飞过的人看来,时钟看上去走了 2 秒,才滴答过去 1 秒。若以光速运行,时间就静止了。

时间效应比长度和质量的效应更使人困扰。物体长度缩短一

半再回到原状,或先加倍质量再回到正常状态,我们都无法观察到那瞬间变化的痕迹,所以反对这个说法的也没必要再吵了。

但是时间却是可以累积的。假如 X 行星上的时钟因高速使它 1 小时内只走了 30 分钟,然后让时钟静止,时钟将恢复正常的速率,但表示的时间还是慢了 30 分钟!那么好吧,如果两艘船相互通过,每条船都觉得对方以每秒 262 300 公里速率运行,对方的钟表会走慢一半,当两艘船再度相会时,船上的人都认为对方船上的钟表要比自己的慢半小时。但两个钟表不可能一个比另一个慢。到底会发生什么情况呢?这个问题就称为**时钟佯谬**。

事实上,这根本就不是一个佯谬。假如一艘船从另一艘旁飞驰而过,船员们都断言对方的钟表走慢了,但哪一方的钟表"真正"慢了并不要紧,因为这两艘船将永久分开了。我们无法把它们的钟表在同一时间拿到同一地点来校对,这样佯谬就不会发生了。事实上,爱因斯坦的狭义相对论也只能应用于匀速运动,所以我们所说的只能是永久的分开。

假设两艘船互相闪过之后**真的**又回到一起,因而**能够**校对时钟。为了发生这一情形,必须增加一些新的因素。譬如至少有一条船要加速。假如 B 船这样做,那末先要减速,然后绕一个大圈子,把船头掉过来,对着 A 船方向加速行驶,追上 A 船。当然,B 船可以选取参考系,认为它自己是静止的,于是,A 船做所有的相应改变,往后加速向 B 船靠近。如果对宇宙来说只有这两艘船,则对称性的确会使时钟保持佯谬。

但是对宇宙来说并**不是**只有 A 船和 B 船——这就破坏了对称性。当 B 船加速时,不仅是对 A 船加速,而且也是对宇宙的所有其他物体加速。如果 B 船选择参考系时把自己看成是静止的,那么它必须考虑,不仅 A 船,而且毫无例外的所有的星系都相对 B 船本身加速。简言之,正是 B 船成了宇宙的对立面。在这种情形

下,B船上的的时钟最后慢了半小时,而不是A船上的时钟。

这个现象会影响星际旅行的观念。假如宇航员离开地球后加速到接近光速,他们的时间流逝的速率比我们的慢得多。当到达遥远的目的地再回来时,对他们来讲只是数周时间,但在地球上也许已过了好几个世纪了。假如时间真随运动而减慢,人们可以在有生之年到远方的星球去旅行,但却必须和自己那一代的人及他所知道的世界说声再见,因为他回来时已是另一个未来的世界了。

引力与爱因斯坦的广义相对论

在狭义相对论中,爱因斯坦并未论及加速运动及万有引力。这些他在1915年提出的广义相对论中作了论述。广义相对论对引力提出了完全不同的看法,认为这是空间的一种性质而不是物体间的一种力。可以这么说,因为物质的存在,空间就被弯曲了,而物体会顺着阻力最小的曲线前进。虽然爱因斯坦的这种想法颇为奇怪,但却能解释一些牛顿引力定律所无法解释的事情。

牛顿引力定律的最大光耀就是在1846年发发现了海王星(见第三章)。此后,似乎就没有东西能动摇牛顿引力定律的地位了。但有一颗行星运动却一直没法解释。水星每绕太阳一周,其最接近太阳的一点,即**近日点**,都要改变,在水星绕着太阳旋转的过程中稳定地向前推进。天文学家把这种不规则变化大都归因于邻近行星吸引所引起的轨道摄动。

事实上,早期研究引力理论的人就已经感觉到,星球间的移位引力所形成的摄动,最后可能会使太阳系脆弱的机制受到破坏。然而,在19世纪前叶,拉普拉斯证明太阳系并非如此脆弱。摄动有其周期性,轨道的不规则变化在任何方向绝不会超过一定的量。因此最后推论说太阳系是稳定的,而天文学家也较已往更加确信,只要考虑摄动,所有特殊的不规则变化都可计算出来。

这种假设却不适用于水星,即使考虑所有的摄动现象,还是无法解释为什么水星的近日点每一世纪都会前进 43 弧秒。由勒威耶于 1845 年所发现的这个运动并不大:经过 4000 年累积起来不过月球的宽度而已,但这足以使天文学家为难了。

勒威耶认为,这种偏离可能是由比水星更接近太阳的某一未发现的小星球所引起。天文学家寻找这颗猜想的行星(称为祝融星),找了几十年,也有许多发现的报告,但后来证明都是错误的,最后一致同意祝融星并不存在。

后来,爱因斯坦的广义相对论提供了答案。它证明每个旋转星体的近日点都有一个牛顿所无法预言的运动。把这种新的计算方式应用到水星时,完全与其近日点移位相符。比水星离太阳远的行星其近日点移位量则较少。1960 年,人们发现金星轨道的近日点也以每世纪 8 弧秒前进,也与爱因斯坦理论几乎完全相符。

给人印象更为深刻的是,只有爱因斯坦理论预言的两个意想不到的新现象。首先,他认为较强的引力场会减慢原子的振动,这种减慢能由光谱线向红色位移所证实(叫做**爱因斯坦位移**)。在设法寻找一个足以产生这种效应的强引力场时,爱丁顿提出了白矮星:光要离开这种致密的星体,必须克服白矮星表面的强大引力,因此有可能探测到光失去的能量。1925 年,第一位证实这种星球巨大密度的 W.S. 亚当斯,研究了白矮星的光谱线并发现了必要的红移。

爱因斯坦第二个预言的证实过程就更加神奇了。他的理论认为,引力场会弯曲光线。爱因斯坦计算出,一束正好掠过太阳表面的光线会改变直线行进,弯曲 1.75 弧秒(图 8-4)。但是怎样才能检验这种预言呢?这么说吧,假如恒星在太阳的后面,日食期间就能观察到星体恰好刚能离开太阳的边缘,并将它们所处的位置和没有太阳干扰时的背景位置来进行比较,我们就可看到因光线

弯曲所产生的位移了。

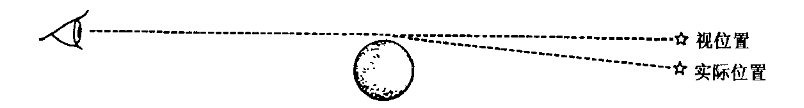


图 8 4 光波的相对论性偏差，这是爱因斯坦在广义相对论中提出的

因为爱因斯坦是在 1915 年发表广义相对论的，因此一直等到第一次世界大战结束后才来检验。1919 年，英国皇家天文学会组织了一个远征队，到普林西比岛去观察一次全日食，以验证爱因斯坦的说法，该岛是西非外海的一个葡属小岛。恒星真的有位移现象，爱因斯坦的观点再度得到证实。

根据同样的原理，若一颗恒星正好在另一颗之后，较远那颗星的光会弯过较近的这颗星，使较远的恒星看来较实际为大。较近的恒星就像是个**引力透镜**一样。但遗憾的是，恒星的可视性太小了，以致于从地球上看去，由较近恒星遮住较远恒星的星食现象是极其罕见的。但是，类星体的发现，又给了天文学家一线曙光。20 世纪 80 年代初期，他们注意到双类星体中的每一个有着完全相同的性质。可以合理地假设，我们看见的仅是一个类星体，它的光线被在我们视线上而我们看不见的一个星系（也可能是黑洞）所扭曲。该类星体的像因而被扭曲，看上去成为双类星体（镜子的缺陷对我们的成像也可能造成同样的效果）。

对广义相对论的验证

爱因斯坦的广义相对论早期所取得的胜利都是天文学方面的。科学家们一直希望能在实验室中随意改变条件来验证他的理论。1958 年首次有了转机，德国学者穆斯堡尔证明，在特定情况下，晶体能产生十分确定波长的 γ 射线。通常，释放 γ 射线的原子

会反冲,从而加宽波长范围。在特定情况下,整个晶体的作用就像单个原子;反冲分散到各个原子,实际上反冲降低殆尽,因此发射出来的γ射线的波长非常准确。这一准确波长射线束能被与产生这一射线束的晶体类似的晶体高效率地吸收。如果γ射线的波长与晶体自然产生的γ射线的波长稍有不同,就不会被吸收。这称为**穆斯堡尔效应**。

假如这种γ射线沿引力方向向下发射,广义相对论要求它获得能量,所以它的波长会变短。只要下降数百米,它就会获得缩短γ射线波长的足够能量,虽然波长缩短微乎其微,但对吸收的晶体来说已经大得无法吸收了。

此外,如果发射γ射线的晶体在发射的过程中向上运动,γ射线的波长将因多普勒-斐索效应而增加。可以调节晶体向上的速度,使正好抵消引力对下落的γ射线的效应,这样一来,当γ射线碰到晶体时就可以被吸收了。

1960年及以后,利用穆斯堡尔效应进行的实验都非常精确地确认了爱因斯坦的广义相对论。到目前为止,这是最好的方法了;因此,穆斯堡尔于1961年获得诺贝尔物理学奖。

其他一些精密的测量也倾向于支持广义相对论,如有关雷达波束通过行星和双脉冲星绕相互的引力中心旋转的行为等等。所有的测量都不是明确肯定的,物理学家们作了种种努力想提出一种更新的理论。但是在提出的所有的理论中,以数学的观点而言,其中最简单的是爱因斯坦的理论。每当进行能够区分不同理论的测量时(差值通常很小),似乎总是支持爱因斯坦的理论。虽然科学家们在继续提出疑问(这是很正确的态度),但将近四分之三个世纪以来,广义相对论依然屹立不动(请注意,怀疑的只是广义相对论,狭义相对论却一再地以各种方法得到证实,如今已没有物理学家对狭义相对论提出怀疑了)。

热

在日常经验中，我们看到一种经常伴随着光的现象，从蜡烛到恒星，几乎所有的发光体在发光时都会放出热。

温度的测量

在近代以前，热还未用定量的方法研究过。那时人们只要说"它是热的"，或"它是冷的"，或"这个比那个热"就足够了。要对温度进行定量测定，首先必须找到随温度变化而均匀发生的一些可测量的变化。人们从物质的热胀冷缩中找到了这种变化。

伽利略是试图利用热胀冷缩的原理来测量温度变化的第一个人。1603年，他将装满热空气的玻璃管倒放在一碗水中，当管中的空气冷却至室温时，空气收缩而且水柱升高，因此伽利略便得到了他的**温度计**(由希腊字而来，意思是"热的测量")。当室内温度改变时，管内水柱高度也随之改变：如果室内温度升高，管内的空气膨胀，促使管内的水柱降低；相反，如果室内温度降低，管内的空气收缩，则会促使水柱升高。实验中惟一的困难是，插玻璃管的那一碗水是暴露在大气中的，而大气压经常在变化。这种气压也可独立于温度推动水柱上升或下降，混淆测量的结果。这种温度计是第一个用玻璃制成的重要科学仪器。

到了1654年，托斯卡纳地方的大公爵斐迪南二世研究出了一种不受空气压力影响的温度计。这种温度计是将液体密封在一个装有一根直管的球泡中，利用液体本身的胀缩来指示温度的变化。液体的体积随温度的变化远较气体小。但是，由于有一个相当大的贮液器和一个装满了液体的球泡，而液体膨胀时只能沿极窄的管子上升，所以即使是极小的体积变化，也会使液体在管内有明显

的升降。

英国物理学家波义耳同时也做同样的试验。他第一个证明人体具有恒定温度,而且明显地高于室温。其他的物理学家则证明一些物理现象要在特定的温度下才能发生。在17世纪结束以前,人们已经发现冰的融化和水的沸腾就是在特定的温度下发生的。

温度计内的液体最早是用水和酒精,由于水很容易冻结而酒精很快就蒸发,所以法国物理学家阿蒙通便改用水银。他的装置同伽利略的一样,也是利用空气的胀缩使水银柱升高或下降。

到了1714年,德国物理学家华伦海特把斐迪南二世和阿蒙通的优点结合起来,将水银密封在管子中,利用水银随温度的胀缩做为指示器。不仅如此,华伦海特还在管子上设一个等级刻度表,使温度可以定量地读出。

有人问,华氏是怎样得到他使用的温度计上的准确刻度的呢?他把在实验室里所得到的最低温度设为零,是由盐和冰的混合液测量而来。而后,他将纯水的冰点设为32,沸点设为212。这有两个好处:第一,水的液态范围为180,这很自然地和**度**联想在一起。因为半圆恰好为180度。第二,人体的温度精确值为98.6华氏度,约接近100华氏度。

由于人的体温是恒定的,因此,如果一个人的体温高于这个恒定温度,则称为发烧,人就会有生病的感觉。在1858年,德国物理学家冯德利希引进了一个方法,那就是时常检查体温来作为疾病的指标。10年后,英国的物理学家奥尔巴特发明了**体温计**。这个体温计在含水银的窄管中有一个狭口儿,当体温计含在口中时,水银线将升高到一最高点,但是将体温计自口中移开后,水银面将不会降下来。水银线从狭口处断开,从而保留水银线的读数。华氏温标美国仍然使用,而在日常生活里,如天气预报和体温计,我们也常常使用华氏温标。

然而在 1742 年,瑞典天文学家摄尔西乌斯采用另外一种不同的刻度标准。温度计的形式是将水的冰点定为 0,沸点定为 100。由于水的液态范围占 100 个刻度,所以这种温度计被称为**百分温标**,这个词从拉丁字而来,意思是"一百步"。大多数人仍然称这种刻度为**百分度**,但是在 1948 年的国际会议上,科学家依照华氏温度计的前例,以发明者的名字来重新命名,仍然保留 C 的符号,以**摄氏温标和摄氏度**为正式的名称。于是摄氏标准广为文明世界所接受,甚至美国也试图使人们习惯使用摄氏温标。特别是科学家们觉得摄氏温标方便。

热的两种理论

温度可用来测定热的强度,却无法测出它的数量。热通常会从较高温处移到较低温处,直到两处温度相等为止,就像水总是从较高水位流向较低水位直到水位相等一样。不管物体本身所含的热量多少,热都表现出这种性质。虽然一个装满温水的浴缸所含的热量比一根燃烧的火柴多许多,但是当火柴和水接近时,热是从火柴转移至水,而不是由水转移至火柴。

在气体研究方面做出了重要成就的布莱克(见第五章),是第一个将热和温度做了清晰区分的人。1760 年,他宣布,不同的物质吸收相同的热所升高的温度各不相同。如 1 克铁升高 1 摄氏度所需的热量为同重量的铅升高 1 摄氏度所需热量的 3 倍,而铍在相同情况下,所需的热量是铁的 3 倍。

布莱克进一步证明,物质吸收热而温度却不升高是有可能的。加热于融化中的冰,能使冰的融化速度加快,但温度却不升高。热最终会将冰全部融化;但在融化过程中,冰自身的温度始终不会超过零摄氏度。同样地,加热于 100 摄氏度沸腾的水,只能使更多的水蒸发,而水的温度在沸腾期间并未改变。

在布莱克做实验的同时,蒸汽机也正在发展(见第九章),这更加强了科学家对热和温度的兴趣,他们像以前思索光的本性一样开始探索热的本质。

和光一样,热也有两种理论。第一种认为:热是一种物质,可以从一个物体转移到另一个物体,并将这种物质命名为**热素**,这个词来自拉丁文,意思是“热”。根据这种论点,当木头燃烧时,热素就从木头转移至火焰,再从火焰转移至火上的茶壶,最后茶壶再将此热素转移至壶内的水中,当水充满了热素后,水就转变成蒸汽。

在18世纪末,两个有名的观察导致了另一个理论。这种理论认为,热是一种振动的形式。其中一个观察是美国物理学家和冒险家B.汤普森发表的。美国独立战争时他逃离美国,在英国获得拉姆福德伯爵的名衔,然后到欧洲游历。1798年,他在巴伐利亚监造大炮镗孔时,发现有大量的热产生;同时发现这些热足够使8公斤(18磅)的水于3小时内沸腾。但这些热是从哪里来的呢?B.汤普森断定,热一定是一种振动,由镗床和炮身机械摩擦而形成并被强化的振动。

1年后,化学家戴维做了一项意义更为重要的实验。他将两块冰保持在冰点以下,然后将它们相互摩擦。为了不使其他的热流入冰中,他用机器操作而不用手操作。由于仅利用摩擦力便使得一些冰融化,因此,他也得出结论:热一定是一种振动而不是一种物质。实际上,这个实验应该起决定的作用,然而热素说虽然很明显是错的,却一直维持到19世纪中叶。

热为能量

虽然热的本质被误解,科学家仍然知道了热的一些重要性质,正如光的研究者在尚未了解光的本质以前就已经发现光的折射和衍射等有趣的现象一样。

法国物理学家傅里叶和卡诺,分别于1822年和1824年对热流进行了研究并取得了重大进展。实际上,人们通常认为卡诺是**热力学**的创始人(热力学一词来自希腊文,意思是“热的移动”)。卡诺将蒸汽机的运转建立在坚实的理论基础上。

到19世纪40年代,物理学家非常关心的一件事,就是蒸汽吸收的热量可以转换成促使活塞移动的机械功。由一定量的热所得到的功,是否有一定的限制呢?其可逆过程又如何:功如何转变成热?

焦耳花了35年的时间,把不同的功转变成热,并且小心翼翼地重做以前拉姆福德伯爵做过的简陋实验。他测量由电流所产生的热量。他用浆叶搅拌水和水银把它们加热,或者让水流过极窄的管子使水发热。他也利用压缩的方法来加热空气等等。在每一个实验里,他一一计算有多少功作用在这系统上,结果有多少热产生。他发现做了一定量的功就可以得到一定量的热;也就是说,焦耳确定了**热功当量**的理论。

因为热可以转变为功,因此必须把热看作是**能量**的一种形式(这个词是从希腊字而来,意思是“含有功”)。电力、磁力、光和机械运动都可以做功,所以它们同样具有能量的形式,而功本身也是能量的一种形式,因为功可以转变成热。

“能量是守恒的,它既不能被产生,也不能被消灭”,对这一说法从牛顿时代开始人们总是有点儿怀疑。热是能量的一种形式的观念强调了这一说法。于是,移动的物体具有**动能**,这个词是1856年由开尔文勋爵提出的。如果物体往高处移动,会因地心引力而逐渐减慢,其动能也会逐渐消失。但是,随着物体动能的减少,物体位置的能量却在增加;因为依靠物体高于地面的位置,当物体往下掉落时,会重新获取动能。1853年,苏格兰物理学家蓝金将位置的能量命名为**位能**。在移动的过程中,物体动能和位能

的总和(即**机械能**)似乎是不变的,这被称为**机械能守恒**。事实上,机械能并**不完全**是守恒的,因为如摩擦力、空气阻力等因素会使机械能减少。

焦耳实验证明的最重要的一点是,如果把热考虑在内,这种守恒能够精确地计算出来,因为如摩擦力和空气阻力所减少的机械能会以热的方式出现。将这种热考虑在内,人们可无条件的证明:既没有新的能量产生,也没有旧的能量消失。1842 年,德国物理学家 J.R.梅耶首次清晰地阐明了上述的论点,但是他的实验未能得到人们的支持,同时他缺少强有力的学历证书(以酿酒为业的焦耳也因为缺少学历证书,很难发表他的精确的成果)。直到 1847 年,一个有足够声望的学者才将上述论点发表出来。在同一年,亥姆霍兹发表了**能量守恒定律**:当一定的能量在某处好像消失时,一定会有同量的能量在他处表现出来。这个定律也被称为**热力学第一定律**。它仍然是近代物理学的一块基石,无论是量子论还是相对论都没有使它受到影响。

任何形式的功都可以完全转换成热,但热却不能完全转换成功。当热转换成功时,有些热是无法利用的,不可避免地要浪费掉。例如蒸汽机运转时,只有在蒸汽温度不低于周围环境的温度时,蒸汽热才可以转换为功;当其温度比周围环境低时,由蒸汽转变成的冷水中虽然含有许多余热,但不能转换为功。而且,即使在可以得到功的温度范围内,有些热也不转换为功,而是用来加热发动机或者周围的空气,或者用来抵消活塞与发动机之间的摩擦力等等。

在任何能量的转换中,例如电能转换成光能,或磁能转换成动能,都有一些能量的浪费。这些浪费的能量并不是消失了,亦即并不违背热力学第一定律,而是转换成热,散失在周围的环境中。

任何系统可作功的能力是它的**自由能**,在熵的测定中,可以显

示出无法避免而以热的形式损失的那部分能量。熵这个词是1850年德国物理学家克劳修斯首先使用的。

克劳修斯指出，在任何含有能量流的过程中，总有一些能量损失，所以宇宙的熵一直在增加，而熵的不断增加就是**热力学第二定律**，有时被称为“宇宙的穷尽”或者“宇宙的热寂”。值得庆幸的是，可供利用的能量（几乎全部由恒星供给，而恒星在以极快的速度“穷尽”）是相当巨大的，足供各种用途使用几十亿年。

热和分子运动

随着对物质的原子性以及气体分子相互间及与器壁间连续碰撞的认识，人们终于可以清楚地了解热的本性了。瑞士数学家伯努利是一位走在时代前面的人，1738年，他试图用以上的观点来解释气体的性质。19世纪中叶，麦克斯韦和玻尔兹曼（见第五章）成功地解开了这一数学关系，并且建立了**气体分子运动论**。这个理论表明，热相当于气体分子的运动。这样热素说终于受到致命的打击。热被看作是一种振动现象：气体及液体中分子的运动，或固体中分子的迅速往复振动。

当固体加热到其往复振动强烈得足以打断相邻分子间的键的程度时，固体即熔化成液体。固体中相邻分子间的键结合得愈强，则使其强烈振动而打断键所需的热量也愈多，因此这个物质有较高的熔点。

液态中，分子可以相互自由地往返，当液体进一步加热到某一程度时，分子就会有足够高的能量，使得它们完全离开液体表面，液体即沸腾。同样，分子间的力越强，则沸点越高。

在固体变成液体的过程中，所有的热都用来打断分子间的键，因此，正在融化的冰吸收的热量不会提高冰的温度。液体沸腾也具有类似的情形。

现在,我们很容易区分热和温度了。热是一定量的物质的分子运动所包含的全部能量,而温度则代表这种物质分子的平均动能。因此,2 夸脱 60℃ 的水所含的热量是 1 夸脱 60℃ 水的两倍(因为有两倍的分子振动);但是 2 夸脱的水和 1 夸脱的水具有相同的温度,因为不论在哪一种情形下,分子运动的平均能量是相同的。

化合物本身的结构也含有能量,那就是键能,它使相邻的分子或原子彼此拉在一起。如果这些键被打断而重新组成新的含能量较少的键的话,多余的能量将以热或光或热光两者的形式释放出来;有时候会因为能量释放的速度太快而导致爆炸。

我们可以计算出任何物质所包含的化学能,也可以测出在任何反应中所释放的热量。例如,煤燃烧时,碳原子间及氧原子间的键被打断,碳跟它们重新组合。新化合物(二氧化碳)的键能较原来碳原子间及氧原子间的键能为低。我们可以计算出它们的能量差,而这种能量差是以热和光的形式释放出来的。

1878 年,美国物理学家吉布斯研究出了**化学热力学**,这个理论十分详尽,使这门学科从假设一下子变得十分成熟。

吉布斯的长篇论文所描述的推论过程,远较其他美国学者所持的论点高明得多。吉布斯本人经过相当时间的犹豫,才在《**康涅狄格科学院艺术与科学汇刊**》上发表了这篇论文。甚至在此以后,由于吉布斯本人羞怯的个性以及此篇论文中严密的数学论点,使这篇论文一直束之高阁,直到奥斯特瓦 1883 年发现这篇论文,将它译成德文公诸于世,才显现出吉布斯对世界的重要贡献。

仅举一个例子来说明吉布斯理论的重要性。他提出的方程揭示了同时存在于多于一个相的不同物质之间达到平衡时所遵循的简单而严格的规律(即同时存在于固体及液体,或两种不相溶的液体和一种蒸汽等等)。这个**相律**对冶金术和许多其他化学分支至关重要。

质能互换

随着 1896 年放射性现象的发现(见第六章),立即引起了关于能量的一个全新的问题。放射性物质铀和钍发射的粒子能量惊人;居里夫人还发现,镭不断地放出大量的热。28.35 克(1 盎司)的镭可持续地每小时发出 4000 卡的热量,而且这种发射可以成年累月地继续下去。已知的最强的化学反应所产生的能量也达不到镭所释放能量的 1/1000000。难道能量守恒定律被打破了吗?

同样令人吃惊的是,与化学反应不同,这种能量的产生与温度无关。如在液态氢的极低温度下和在常温下产生的能量一样!

很明显,这里涉及的是一种全新的能量,和化学能是大不相同的。幸好,物理学家很快地就找到了答案。这一次又是爱因斯坦在他的狭义相对论里提供的。爱因斯坦对能量的数学描述表明,可以把质量看成是能量的一种形式——一种非常集中的形式,因为微小的质量可以转变成巨大的能量。

爱因斯坦关于质量和能量的方程已成为世界最著名的方程之一,此方程为:

$$e = mc^2$$

其中,e 代表能量(单位为尔格),m 代表质量(单位为克),而 c 为光速(单位为厘米/秒)。也可以用其他单位来运算,其结果性质不变。

因为光速为 3×10^{10}厘米/秒,所以 c^2 的值是 9×10^{20};换句话说,1 克物质能转换成 9×10^{20}尔格的能量。尔格是能量的最小单位,而不能用其他普通的词解释。我们可以从下列的叙述来了解这个数字的意义,1 克物质所转换的能量,可使 1000 瓦的灯泡持续亮 2850 年;换句话说,此能量相当于2000吨汽油燃烧所能得到

的能量。

爱因斯坦的方程完善了属于科学界中的一个神圣守恒定律。拉瓦锡的质量守恒定律说,物质既不能被创造,也不能被消灭。事实上,任何释放能量的化学反应都有极少部分的质量转换成能量:假使以极精确的方式称重,会发现产物重量和原物重量并不完全相等。但在通常的化学反应中,质量亏损太微小,对 19 世纪化学家而言,他们当时能利用的技术是无法探测出来的。然而,物理学家现在面临的是一种完全不同的现象,放射性的核反应而不是煤燃烧的化学反应。核反应释放出大量的能量,其亏损的质量也足以被测出。

爱因斯坦以质能互换为出发点,将质量守恒定律和能量守恒定律合成为**质能守恒定律**。热力学第一定律不仅因此站得更稳,而且更无懈可击了。

阿斯顿利用质谱仪进行实验,证明质量能够转换成能量。质谱仪可以根据磁场中原子核的偏转程度来精确测定原子核的质量。阿斯顿在 1925 年用改进的仪器证明,各种原子核的重量并不恰好为组成这些原子的质子和中子的重量和。

让我们先来考虑一下这些质子和中子的质量。一个世纪以来,原子和亚原子粒子的重量通常是以氧原子量正好 16.000 00 为基准来测量比较的(见第六章)。然而在 1929 年,吉奥克提出氧是由 3 种同位素氧-16、氧-17 和氧-18 组成的,而氧原子量为这 3 种同位素质量数的平均值。

可以确定的是,氧-16 在这 3 种同位素中是最常见的,它在所有的氧原子中占 99.759%。因此,如果总的氧原子重量为 16.000 00,那么同位素氧-16 的质量数**几乎**为 16(极少量氧-17 和氧-18 的质量使它的值达到 16)。这一发现后,在一代人的时间里,化学家并不为其所动,仍然使用旧的基准,后来称之为**化学**

原子量。

物理学家的反应则不然。他们喜欢将同位素氧-16的质量定为正好16.0000,并且依此标准来决定他种元素的原子量。在此基础上建立了**物理原子量**。按照氧-16等于16的标准,由于微量较重同位素的影响,氧本身的原子量是16.0044。因此一般说来,所有元素的物理原子量较其相对的化学原子量高约0.027%。

1961年,物理学家和化学家达成协议,同意在以碳-12同位素含有12个质量数的基础上来确定原子的重量。这样就将原子量建立在独特的质量数的基础之上,使原子量变得更为重要。另外,这个基础上的原子量同在原有系统的原子量几乎完全一样。这样,按照碳-12等于12的标准,氧的原子量为15.9994。

那么,让我们以原子量等于12.0000的一个碳-12原子说起。碳-12的原子核包括了6个质子和6个中子,从质谱仪的分析测量可以清楚地得到,按照碳-12等于12的标准,1个质子的质量为1.007825,1个中子的质量为1.008665。那么,6个质子的质量应为6.046950;而6个中子的质量应为6.051990;全加起来,12个核子的质量应为12.104940。但是碳-12的质量却只有12.00000,那么损失的0.104940跑到哪里去了呢?

损失的质量称为**质量亏损**,损失的质量除以质量数即为每个核子的质量亏损或称为**敛集系数**。质量并不是真正地消失,而是按照爱因斯坦方程转换成能量,所以,质量亏损即为原原子核的结合能。原子核分解成质子和中子时需要供给的能量等于结合能,因为质量的数量等于可以形成的能量。

阿斯顿测定了许多原子核的**敛集系数**,并且发现从氢到靠近铁的元素敛集系数迅速地增加,而周期表后面其余元素的敛集系数又缓慢地减小。换句话说,周期表中间元素的每个核子结合能最高。因此,从周期表两端转变到靠近中间的元素时,会释放能

量。

就以铀-238为例,其原子核经过一系列的衰变后,最后转变成铅-206。在衰变的过程中,释放出8个α粒子(也释放β粒子,但因太轻了,所以省略不计)。铅-206质量为205.9745,8个α粒子总质量为32.0208,所有产物合计总质量为237.9953,而铀-238质量为238.0506。两者的差值为0.0553。损失的质量恰好可以用来解释铀衰变时所释放的能量。

当铀分解成更小的原子时,如铀裂变时,会释放出更多的能量。再如星球中的氢转变成氦时,会有更多的质量亏损而产生巨大的能量。

物理学家们开始把质能等价性看成是一种非常可靠的记录。例如,在1934年发现正电子时,正电子与负电子互相湮灭而产生了一对γ射线,其能量恰好等于正负电子的质量和。不仅如此,正如布莱克特首次指出的那样,质量可由适当的能量来转换。在一定的情况下,适当能量的γ射线会消失而变成由纯能量产生的**正负电子对**。由宇宙粒子或质子同步加速器产生的粒子供给的更巨大的能量,可以促使产生更大的粒子,如介子和反质子。

当记录本上出现不平衡时,如在β粒子发射过程中能量比预期值小,物理学家构想出中微子来平衡这一能量的差额而不去改变爱因斯坦方程(见第七章)是不足为怪的。

如果需要进一步证明由质量转换成能量的理论,原子弹已提供了无可争辩的事实。

粒子和波

20世纪20年代,物理学界盛行二象性的理论。普朗克证明辐射具有粒子性和波动性。爱因斯坦证明质量和能量属于同一体

的两面,并且证明空间和时间是密不可分的。物理学家们开始寻找其他具有二象性的情形。

1923 年,法国物理学家德布罗意指出,如同辐射具有粒子的特性一样,物质的粒子,如电子,也应显示出波的特性。他预言,与这些粒子缔合的波,其波长应与该粒子的质量及速度的乘积(即动量)成反比。德布罗意计算出,与中等速率电子缔合的波的波长应属于 X 射线的范围。

1927 年,上述的惊人预言被证实。贝尔电话实验室的戴维孙和杰默以电子轰击金属镍。在一次实验室的事故中,将镍加热了很长一段时间,使金属镍变成了大块的晶体。这种晶体用于衍射非常理想,因为晶体中原子的间隔与电子的极短波长不差上下。果然,穿过这些晶体的电子表现出波动性而不是粒子性。在镍后面的银幕上可以看到明暗相间的干涉图样,就好像不是电子而是 X 射线穿过镍所显示的图样一样。T. 杨早在一个世纪以前就利用这种干涉图样来证明光的波动性。现在他们又用来证明电子的波动性。通过测量干涉带,可以计算出电子的波长。结果表明,电子的波长是 1.65 埃(1 埃 = 10^{-8}厘米),和德布罗意所计算的应得值几乎完全相同。

在同一年里,英国物理学家 G. P. 汤姆孙独立地用不同的方法也证明出电子具有波的性质。

德布罗意于 1929 年获得诺贝尔物理学奖,而戴维孙和 G. P. 汤姆孙共同获得 1937 的诺贝尔物理学奖。

电子显微术

二象性的新发现完全出人意外,但很快就被应用在显微术上。前面我已经说过,普通光学显微镜超过某一程度就失去了作用,因为光波能够清楚地确定一些目的物的大小有一个限度。这些目的

物愈小愈趋模糊,因为光波开始绕过它们。1878 年,德国物理学家阿贝首次指出上述现象。当然,解决更小物体呈像清晰的办法,乃在寻求更短的波长。普通光学显微镜可以分辨间隔为 1/5 000 毫米的两个点,而紫外线显微镜的分辨力为1/10 000毫米,X 射线的分辨力更好,但是没有适合 X 射线用的透镜。而使用电子波就可以解决这个问题。电子波的波长和 X 射线的波长大致相同,而且容易操纵。举例来说,磁场能够使电子射线偏转,因为电子波是与一种带电粒子缔合在一起的波。

正如利用透镜适当调节光线可以使肉眼看到一个物体的放大像一样,利用磁场适当操纵电子波同样可以在照相底板上记录下一个物体的放大像。另外,由于电子的波长远小于普通光的波长,所以在高倍率下,**电子显微镜**的分辨力也就远大于普通光学显微镜的分辨力(见图 8-5)。

1932 年,鲁斯卡和诺尔在德国合制了一架粗糙的电子显微镜,可以放大 400 倍。但真正具有实用价值的电子显微镜则是由多伦多大学的希利尔和普雷布斯于 1937 年合制而成的。这架电子显微镜可将物体放大 7 000 倍,而最好的光学显微镜仅达 2 000 倍的放大率。到 1939 年,电子显微镜已可以在市场上买到,最后,希利尔等人又使电子显微镜发展到2×10^6的放大倍率。

普通电子显微镜是将电子束聚焦在目标上,让电子束穿过目标,而另一种电子显微镜则是让电子束快速地扫描目标,如同电视机中的电子束扫描显像管一般。这种**扫描电子显微镜**最早在 1938 年就由诺尔提出了,但是第一台可以使用的扫描电子显微镜则是由英国出生的美国物理学家克鲁于 1970 年左右制造的。扫描电子显微镜对被观测的物体造成的伤害较小,而且显示的物体具有更强的立体效果,因此可以得到更多的信息,甚至可以显示出较大的单个原子的位置。

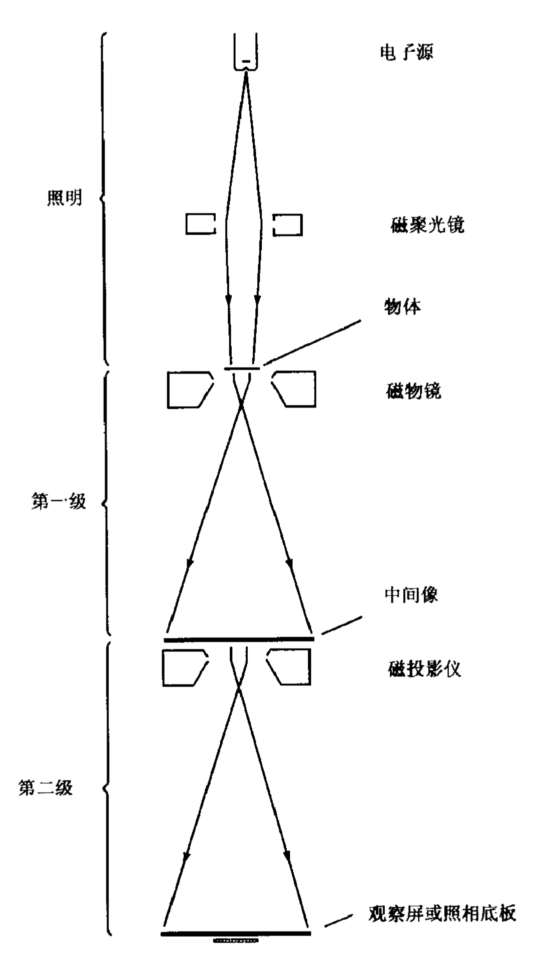


图8 5　电子显微镜示意图。磁聚光镜使电子变成平行的射束。磁物镜的作用，如同凸透镜，产生一个放大的中间像。中间像再被磁投影仪进一步放大，最后被投射在荧光屏或照相底板上

电子为波

这种粒波二象性反过来也同样成立,这应该不足为奇了。因此,通常被认为具有波动性的现象也应该具有粒子的特性。普朗克和爱因斯坦已经证明,辐射是由量子组成的,而在某种程度上这些量子就是粒子。1923年,曾经发现宇宙射线具有粒子性质的物理学家康普顿(见第七章),证明这种量子具有某些纯属于粒子的性质。他发现,X射线被物质散射时,会损失能量而使得波长变长。这个效应正是一个辐射粒子撞出一个物质粒子时期望得到的效应:受碰撞的物质粒子被推向前,获得能量;而X射线改变方向,失去能量。这个**康普顿效应**帮助确立了波粒二象性。

物质波对理论也有一些重要的影响,例如,物质波澄清了关于原子结构的一些疑难问题。

1913年,玻尔根据新阐述的量子理论,描绘了氢原子的模型。他认为,氢原子是由一个中心核和一个围绕着核的电子组成的,此电子可在一些轨道中选择任一轨道绕核运行。这些轨道都有固定的位置;如果该电子由外层轨道落到内层轨道,它将损失能量,这损失的能量以具有一定波长的一个量子的形式发射出来;如果电子是从内层轨道移到外层轨道,它将会吸收一个量子的能量,但是这个量子的能量大小和波长要恰好可以使电子跃迁。因此,氢仅能吸收或发射辐射的某些波长,这些波长在光谱中形成特征谱线。玻尔的理论在以后的十年里,被发展得愈来愈复杂,特别是德国物理学家索末菲,他还提出了椭圆形轨道理论。玻尔的理论成功地解释了关于各种元素光谱的许多事实。玻尔以他的理论得到1922年的诺贝尔物理学奖。德国物理学家J.夫兰克和G.L.赫兹研究原子和电子之间的碰撞问题,为波尔理论提供了实验基础,他们二人共同获得1925年的诺贝尔物理学奖。

1926年,奥地利物理学家薛定谔决定根据德布罗意的粒子具

有波动性的理论重新观察原子。他把电子视为一种波，认为电子并不是像一颗行星环绕太阳似地环绕着原子核，而是以波的形式环绕原子核，因此可以说它一下子就占据了整个轨道。结果证明，根据德布罗意所预测的1个电子的波长，整数的电子波恰好符合玻尔所描述的轨道。在轨道之间，电子波并不恰好是一个整数而是**异相**结合，因而这种轨道是不稳定的。

薛定谔对原子所作的数学性描述，称之为**波动力学**或**量子力学**。这种研究原子的方法比原来玻尔的方法更令人满意。薛定谔与狄喇克共同获得1933年的诺贝尔物理学奖。狄喇克是反粒子理论的创立者（见第七章），他对发展原子的这种新图像也有所贡献。德国物理学家玻恩对于量子力学在数学方面的发展有更进一步的贡献，他与另一人共同获得1954年的诺贝尔物理学奖。

不确定原理

到目前为止，电子已是一个非常模糊的“粒子”，而且模糊的程度很快就变得更加严重。德国人海森伯进一步提出一个深奥的问题，使粒子甚至物理学本身几乎进入一个不可知的领域。

海森伯提出他自己的原子模型。他不以粒子或波动的说法来描述这个模型。他认为，任何在原子的结构和我们周围世界的结构之间寻求类似点的企图都注定要失败。他不以绘图法而完全用数字的方式来描述能级和电子轨道。他利用数学里**矩阵**的方法来处理他的数字，所以这个系统被称为**矩阵力学**。

由于海森伯对于量子力学的贡献，他得到1932年的诺贝尔物理学奖。但是他的矩阵力学不像薛定谔的波动力学那么受物理学家的欢迎，因为薛定谔的理论似乎与海森伯的抽象理论同样有用，而且即使对物理学家来说，要强迫自己不用图像来描绘他们所讨论的内容，也是困难的。

到了1944年,匈牙利出生的美国数学家诺伊曼提出一系列论证,似乎表明矩阵力学与波动力学在数学上是相等的,也就是说,凡是能被矩阵力学证明的,波动力学也可以证明。因此,何不选择较不抽象的波动力学呢?这样看来,物理学家们的选择似乎是正确的。

提出了矩阵力学后,海森伯继续研究关于描述粒子位置的问题。如何能够知道粒子的位置呢?最明显的答案是:去观察它。那我们就想象一个能观察1个电子的显微镜,我们必须借助光的照射或适当的辐射才能看到这个电子。但是1个电子是如此地渺小,1个光子的撞击都可使它移动而改变位置。所以在测定电子位置的当时,我们已经改变了该电子的位置。

这也是日常生活中我们常会遇到的现象,如当我们用压力计测量轮胎中的气压时,会使一些空气从轮胎内跑出来,因而,我们测量气压的动作本身会稍微改变气压。同样,当我们以温度计测量浴缸内的水温时,温度会因温度计的吸热而稍微改变;又如以电表测量电流时,标度盘上指针的移动会带走一些电流。在我们做任何测量时,上述的误差是无法避免的。

纵然,在我们日常的测量里,上述的误差非常渺小,可以忽略不计,但是当我们观测电子时,情形就大不相同了。我们所用的测量仪器至少和所测量之物要一样大,但是我们找不到比电子更小的仪器来测量它。因此,我们的测量不可避免地对被测对象会有不可忽略的、决定性的影响。我们可以在某一瞬间制止电子的运动而得到它的位置,但是,在这种情况下,我们无法知道它的运动或速度。另一方面,在任一时刻,我们可以记录下它的速度,但我们却不能确定它的位置。

海森伯指出,除非你愿意不确知亚原子粒子的精确运动,否则不能设计出确定亚原子粒子位置的方法。反过来,除非你不想知

道亚原子的精确位置，否则你也无法确定亚原子粒子的精确运动。在同一时间里，想把位置和运动都精确地测出是不可能的。

如果海森伯是正确的，那么即使温度在绝对零度下，也不是完全没有能量；要是能量达到零点，粒子岂不完全不动了，于是速度可以定为零，那么位置就可以确定了。所以，我们应该认为，必定有一些剩余的**零点能**存在，即使绝对零度时，粒子也保持运动，也可以说不确定性；而且也无法将零点能取走，即在绝对零度下，仍能使氦为液态（见第六章）。

不确定原理认为，不增加动量的误差就不可能减少位置的误差。1930 年，爱因斯坦指出，不确定原理也含有这样的意思，即不增加测量时间的不确定性要减少测量能量的误差也是不可能的。爱因斯坦想以这种观点为出发点来反证不确定原理，但是玻尔进一步证明，爱因斯坦的反证是错误的。

事实上，爱因斯坦关于不确定的论点，后来被证实非常有用。他的论点指出，在亚原子的过程中，假如所有的亚原子过程在最后都能回到守恒状态，那么在极短的时间内可以违反能量守恒定律：偏离守恒愈多，允许的时间间隔愈短暂（汤川秀树在创立他的 π 介子理论时曾用过这个观念，见第七章）。假设粒子无视能量守恒是无中生有的，但在可以探测它们的时间之前已不再存在，因而它们只能是**虚粒子**，这样我们甚至可以用爱因斯坦的上述论点来解释某些亚原子现象。虚粒子理论在 20 世纪 40 年代晚期，由三个人研究提出，他们分别是美国物理学家施温格、费因曼和日本物理学家朝永振一郎。他们共同获得 1965 年的诺贝尔物理学奖。

从 1976 年开始，人们甚至猜测，宇宙是由巨量的微小虚粒子以极快的速度扩展并留存下来而开始的。按照这个观点，宇宙是无中生有的，而且我们可以想象到可能会有无限多的宇宙，正在无限的虚无的空间形成（并最终结束）。

不确定原理深深地影响了物理学家和哲学家的思想。它与哲学上的**因果律**(即原因和结果的关系)有着直接的联系。但它在科学方面的含义并不像人们通常所想象的那样。人们经常看到这样的文章,说不确定原理抹煞了自然界所有确定的事物,说到底科学并不知道而且永远也不能知道真正发生的情况,科学知识所依赖的是对宇宙的无法预测的奇思怪想,因为在这个宇宙中,结果可以不随原因而来。不管这种解释从哲学的观点来看是否正确,不确定原理丝毫没有动摇科学家研究科学的态度。例如,假设空气中个别分子的行为不能被精确地预测出来,但是平均来说气体分子的确遵循一定的定律,我们可以用统计的方法预测它们的行为,就如保险公司,虽然不能预测某个人什么时候会死,但是却可以计算出可靠的死亡率。

确实,在大部分的科学观察中,不确定性与有关测量的标度相比,实在太小了,在一切实际目的中完全可以忽略不计。一个人可以同时测出一个恒星、一个行星、一个台球,甚至一粒沙子的位置和速度,而且可以得到令人满意的精确结果。

亚原子粒子本身的不确定,不但没有阻碍物理学家,反而帮助了物理学家。它被用来解释放射性和原子核吸收亚原子粒子的事实,以及许多其他亚原子的事件,这些解释比以前没有不确定原理时更为合理。

不确定原理说明宇宙比我们所能想象的复杂得多,但并非是不合理的。

(潘桂敏　译)

第九章　机　　器

火 和 蒸 汽

本书至此,几乎全是谈**纯科学**,也就是解释我们世界上各种现象的科学。然而,在整个历史进程中,人类一直在利用世界上的资源来增进本身的安全,改善生活,增加乐趣。一开始,人类对这些资源虽然没有正确的认识,但是经过仔细观察,一般理解,甚至是巧合,人类便逐渐能够驾驭它们,为己所用。使资源为人类所利用就是**技术**,它产生在科学之先。

科学发达之后,技术才可能以更快的速度进步。在现代,科学和技术已经密切结合在一起而不可能分开。这是因为每当科学阐明一些自然定律,就带动技术进步;而技术创造出新的仪器和设备供科学家使用,也就促进科学发展。

早期的技术

我们再考虑一下热力学第一定律,虽然这个定律说能量不能无中生有,但是没一条定律说能量不能由一种形式转变为另一种形式。我们的全部文明都是建立在发现新能源以及用更有效、更先进的方法来利用新能源的基础上。事实上,有史以来人类最伟大的一项发现就与将木材等燃料的化学能转变成光和热的一些方法有关。

可能在现代人种——**智人**出现的50万年前,原始人类就发现了火。可想而知,他们遇到了闪电引起的灌木林火或森林大火,被吓得四散逃跑。直到他们的好奇心胜过恐惧之后,才发现了火的长处。

有一次可能是一个妇女,更可能是一个小孩,被静静燃烧着的这种林火的余烬所吸引,于是往火堆里加上一些小树枝,然后看着跳跃的火苗飞舞,玩得十分有趣。当然,这时年长的人会阻止这种危险游戏,直到他们之中的一个富有想象力的人认识到使用火的益处,才将这种小孩游戏变成供人们使用的东西。火能在黑暗中提供光亮,使寒冷变成温暖,防止野兽侵袭。后来,人们发现火产生的热可使食物变软,使食物的味道更好。(但是,史前人类不可能知道火能杀死细菌和寄生虫。)

有数十万年之久,人类不会点火,只能让火苗不停地燃烧来取火。万一熄灭,就会像现代社会停电一样。为了弄到火,可能要到邻近的部落去借火,或是等到再次闪电引发火灾时再弄些火苗来。一直到较近的历史年代,人类才学会在事先没有火的地方如何点火,只在这时火才被人类真正控制(图9 1)。控制火是由**智人**在史前时代完成的,然而准确的年代、地点以及用何种方法点火,我们不知道,也许永远无法知道。

在人类文明发展史的初期,火不仅提供了光和热、防护和烹调,后来还用于从矿石中提取金属,然后冶炼金属,以及烧制陶瓷和砖瓦,以至制造玻璃。

其他各种重要发展也促使了文明的诞生。大约在公元前9000年,人类开始种植植物,饲养家畜,从事农业和耕种,从而增加了食物的供给量。人类发现动物是一种直接能源,牛、驴、骆驼,后来还有马(当然还有分布在世界各地的驯鹿、犀牛、水牛、无峰驼和大象),这些动物的食物比人类的饮食粗糙得多,但肌肉却比人

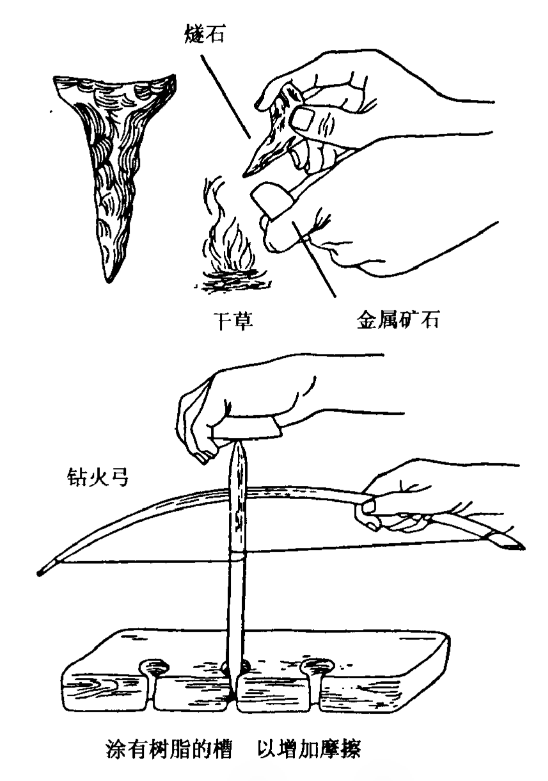


图 9-1　早期的两种点火方法

类强壮许多,可以使役。

公元前 3500 年左右,人类发明了圆轮(开始大概是陶工制造陶器的转盘)。若干世纪后,大约在公元前 3000 年,人们在载物撬上装置轮子,从此就利用滚动来拉载东西。虽然轮子不是直接能源,但克服了摩擦力就能减少能量损失。

那时人们还使用原始的木伐和独木舟,利用流水的能量来运输。可能在公元前 2000 年左右,人们利用风帆借助风力加速航

行,甚至使船逆流而上。在公元前 1 000 年左右,腓尼基人的帆船活跃在整个地中海航线上。

公元前 50 年左右,罗马人开始使用水车,利用急流推动轮子,从而又带动其他轮子做功,碾碎谷物、捣碎矿石或汲水等等　风车也在这个时候开始使用,利用风力而不是用水流转动轮子,因为湍急的水流并非到处都有,而风却无所不在。中古时代的西欧,风车是一种重要的能源。也是在中古时代,人们开始在冶金炉里燃烧称为**煤**的黑石块,开始利用磁力作船的指南针(磁力指南针终于使远航探险成为可能),并开始在战场上使用化学能。

大约在 670 年,化学能开始用在破坏方面(不是过去在箭尖上点火的那种简单技术)。据信,当时一个名叫卡利尼库斯的叙利亚炼金术士发明了**希腊火**,它是由硫和石脑油组成的一种原始燃烧弹,在 673 年因用来解救君士坦丁堡被回教徒第一次围困而闻名。火药大约是在 13 世纪传到欧洲的,R. 培根记载为 1280 年。据知,亚洲早在此数百年之前便发明了火药,大概是在 1240 年蒙古人开始攻打欧洲时传入的。无论如何,利用火药发射的大炮在 14 世纪已在欧洲出现,加农炮似乎在 1346 年克雷西战役中首次出现。

在中世纪的所有发明中,最重要的是德国人古滕贝格发明的活版印刷术①。大约在 1450 年他首次铸出活版,从此印刷成为人类文明发展中的有力工具。他还发明了印刷油墨,是把碳黑悬浮在亚麻子油里,而不再是悬浮在水中。这时候纸张代替了羊皮纸(按传统说法,大约在公元 50 年,中国的宦官蔡伦发明了造纸法,在 13 世纪经由阿拉伯传入欧洲)。印刷术和纸张的发明,使书籍和其他文字资料能够大量出版,广为流传。至今,还没有其他发明

---

① 早在 1041 年—1048 年我国北宋庆历年间,由毕昇发明了活字印刷术。——译注

的采用如此之快，30 年之间就有 40 000 册书籍出版。

此后，人类知识的记录不再限于宫廷内收藏的善本，而是只要有阅读能力的人都可以在图书馆借到想看的书。许多表达公众意见的小册子也首次印刷出版(1517 年，马丁·路德因反对罗马教廷而提倡宗教改革的成功，主要归功于印刷事业能把消息传给民众。否则，所谓宗教改革只不过是教会内部的争执而已)。此外，印刷术是传播科学知识的首要工具之一，是广泛交流思想的必不可少的工具。早期的科学只是少数学者彼此之间的私人交流，如今，科学已成为人类活动的主要领域，使越来越多的工作人员加入到最后将扩展成为世界性的**科学社团**，对各种理论做及时而严格的检验，并永无止境地开发各项新的领域。

蒸汽机

能量的利用尽管在古代已有模糊的预示，但是直到 17 世纪末才达到一个伟大的转折点。希腊发明家亚历山大大帝在 1 世纪某年代，建造了一些以蒸汽为动力的装置。他利用蒸汽膨胀所产生的推力来打开朝宇的大门、转动地球仪等等。随着亚历山大帝国衰败，资料散失，已无法探究这些早期的装置了。

然而，在 15 世纪后期，蓬勃发展的新社会有了第二次改革的机会。矿坑里抽水的问题日益严重，因为矿坑开采越深，越需要抽出大量的水。老式手摇唧筒(见第五章)利用真空来抽水，而到了 17 世纪，人们越来越喜欢也更热衷于利用真空(或者，更确切地说，是真空造成的空气压力)的巨大能量。

举例来说，1650 年有一位德国物理学家(马德堡市市长)居里克发明了人工抽气机。他把两个有凸缘的金属半球组合在一起，其中一个半球有气嘴，从气嘴抽出组合的两个半球内的空气，于是半球内的空气压力降低，与半球外面的大气压力失去平衡，这样，

两个半球就紧紧地贴在一起。最后,即使用两组马匹以相反方向用力拉,也无法将两个半球分开。然而,一旦半球内再充入空气,两个半球就自动分离。这个实验曾经展示给包括德国皇帝在内的要人观看,引起了很大轰动。

因此,一些发明家开始想:为什么不利用蒸汽代替手工来抽真空?如果把水倒入圆桶或其他容器内加热,使水沸腾形成蒸汽,就会把水排出容器。如果冷却容器(例如,在容器外面加上冷水),那么容器内的蒸汽会凝成水滴,容器就产生接近真空的状态。想使水上升(如抽出矿坑内的水),可以通过阀门使水进入真空的容器内。

法国物理学家帕潘早在1679年就见识到蒸汽的力量。他制造了一个**蒸汽锅**,使水在这个密闭锅内沸腾。蓄积的蒸汽压力使水的沸点增加,这样的高温使食物易熟而且更好吃。蒸汽锅内产生的压力,使帕潘想到可以利用蒸汽来做功。于是,他在一根其中有活塞的管子底部放置一些水,然后加热使水变成蒸汽。蒸汽强力扩张,于是向上推动活塞。

英国的军事工程师萨弗里是第一个把上述想法用到实用装置上的人。他制造的蒸汽机可用来抽出矿坑或井里的水,或是用来推动水车,所以他称他的机器为"矿工之友"。但是,他所造的蒸汽机不但危险(因为蒸汽的高压可能把容器和导管冲破),而且效率很低(因为每当容器冷却,蒸汽的热量就损失掉)。萨弗里的蒸汽机在1698年取得专利。7年后,一个名叫纽科门的英国铁匠制造了一部改进的蒸汽机,在筒状容器内有一个活塞,利用大气压把活塞往下推,就可以在比较低的蒸汽压下运行。

纽科门的蒸汽机效率也不高(每次加热后,仍要冷却蒸汽室),以致蒸汽机并不怎么受重视。直到60多年之后,苏格兰的仪器制造工程师瓦特发明了高效率蒸汽机。当时,格拉斯哥大学雇用瓦

特帮助修理一台有故障的纽科门蒸汽机模型。瓦特开始思考大量浪费燃料的问题：究竟为什么蒸汽室每次都必须冷却？为什么不始终保持蒸汽室的蒸汽温度，而把蒸汽引到另一个处于冷态的冷凝室？于是，瓦特做了一些其他改进：利用蒸汽压力辅助推动活塞；装上一套机械连动装置，使活塞保持直线运动；将活塞的往复运动牵引在一个能转动轮子的轴上，等等。到1782年，瓦特的蒸汽机的效率比纽科门的蒸汽机至少高两倍（同是烧1吨煤），就像一匹可作多种使役的马随时可以运转（图9－2）。

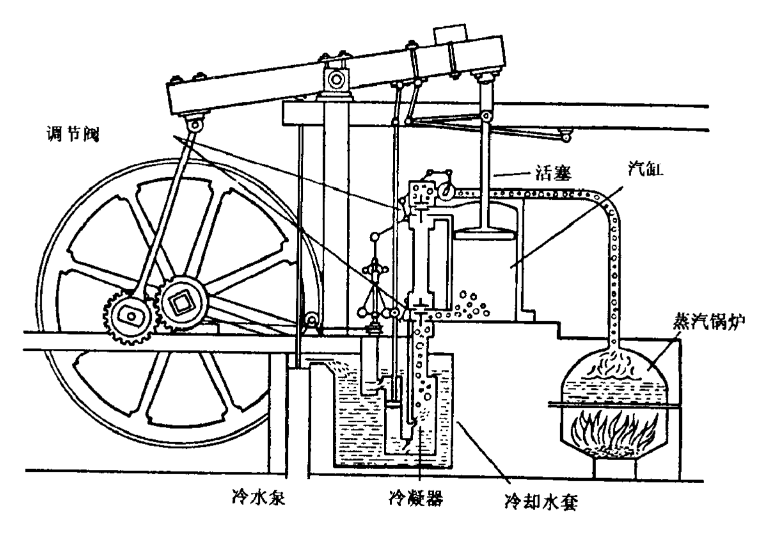


图9－2　瓦特的蒸汽机

在瓦特以后的年代里，蒸汽机的效率不断提高，主要是利用在更高的压力下的更高温度的蒸汽。卡诺的热力学（见第七章）的创立，主要是由于认识到任何热机运行的最大效率与储热介质（一般情况为蒸汽）冷热前后的温度差成正比。

在18世纪中，人们发明了各种机器设备来大量增加纺织品产

量。这些机器设备取代了中古时代使用的纺车。最初,这些机器借动物或水车的动力运转。但是在1790年,纺织工业跨出了关键性的一步,即利用蒸汽机作为动力。

于是,新式纺织厂不必再建在湍急水流附近,也不必饲养动物,可以建在任何地方。后来,英国开始了革命性转变,劳动人民离开农田,放弃家庭手工业,蜂拥进工厂。但是,当时工厂内的工作环境甚差,后来人们逐渐领略到:工人的待遇不应该比替人工作的动物还要糟,于是工厂的工作环境才逐渐改善。

采用蒸汽机作为新动力系统的其他国家,同样也发生了巨大转变和工业革命(工业革命一词是1837年法国经济学家布朗基开始使用的)。

蒸汽机也全面革新了运输业。1787年,美国发明家J. 菲奇制造了一艘可以航行的汽船,因为经济困难而告终,J. 菲奇默默无名地死去。美国人富尔敦是一个比J. 菲奇能干的发起人,他建造的汽船**克莱蒙特**号在1807年下水,由于大肆夸张和一些人的支持,都以为他是汽船的发明人。事实上,正如瓦特并非制造蒸汽机的第一个人一样,富尔敦也不是第一个制造汽船的人。

也许更值得纪念富尔敦的地方,是他努力试图建造水下航行的船只。他制造的潜水艇并不实用,但是却促进了现代化的发展。他建造了一艘称为**鹦鹉螺号**的潜水艇,而凡尔纳在1870年出版的小说《**海底二万里**》中的潜水艇也叫鹦鹉螺号;另外,第一艘核潜艇受小说的影响也是用这个命称(见第十章)。

19世纪30年代,横渡大西洋的汽船使用**螺旋桨**推进,这比两侧圆轮推进器要进步许多。到了19世纪50年代,美国的漂亮的快速帆船开始把帆收了起来,而且远洋商船队和海军船只都被汽船代替。

后来,英国工程师C. A.帕森斯(发现蟹状星云的罗斯勋爵之

子)对使用蒸汽机的船只做了一项重大改进。原来的汽船是用蒸汽推动活塞,再用活塞推动推进器。C. A.帕森斯把“中间环节”拿掉,使蒸汽流直接吹向推进器周围的一组叶片。这样一来,推进器就必须能承受高温和高速旋转,然而他终于在1884年造出了第一台实用的**蒸汽涡轮机**。

1897年,维多利亚女王登基60周年,英国海军进行了例行的蒸汽动力战舰检阅,这时帕森斯的蒸汽涡轮动力舰**涡轮号**以每小时35海里的速度悄悄地超越过去,而英国海军当中没有一艘能够追上涡轮号,这等于为涡轮号做了一次广告宣传。不久,商船和军舰都改用涡轮动力了。

在这期间,蒸汽机也开始主宰了陆路运输。1814年,英国发明家斯蒂芬森(他的工作大部分是根据英国工程师特里维西克的研究)建造了第一台实用的**蒸汽机车**。利用蒸汽推动活塞的往复运动,就像活塞推动船上的推进器那样,带动铁轨上的铁轮子。1830年,美国的制造商库柏建造了西半球第一辆蒸汽机车,这是历史上一大创举,使陆路运输能如海路运输一样方便,同时使陆路经商能和海路贸易竞争。1840年,美国的铁路由濒临大西洋的东岸建到密西西比河。到了1869年,铁路线横跨了整个美国。

电

根据事物的自然特性,蒸汽机只适用于产生大规模而且持续的能量,无法有效地传送少量能量,也无法用按钮控制的方式使它做间歇性传送。一部小型蒸汽机得按照需要点火和熄火,十分麻烦。但是,在蒸汽动力蓬勃发展的同一时代,也出现了把能量精确转换成上述方式的设备,即只要一按电钮就能把现成的能量传送到任何地方,大量少量都可以。这种形式就是电。

静电

希腊哲学家泰勒斯在公元前600年左右写下了这样的记载：在波罗的海沿岸发现的树脂(我们称为琥珀，当地人称为**电子**)和犬皮摩擦后，就会吸引羽毛、丝线或少许绒毛。英国人吉伯是一位磁性研究者(见第五章)，他是第一位将这种吸引力称为**电**(源于希腊文“电子”)的人。吉伯发现除了琥珀以外，还有诸如玻璃之类的东西，经摩擦也有带电现象。

1733年，法国化学家迪费发现，假使让两根琥珀棒或两根玻璃棒用摩擦的方法使它们带电，两根同类棒会互相排斥，而带电的玻璃棒却会吸引带电的琥珀棒。如果玻璃棒和琥珀棒一接触，两根棒就都不带电。他认为，这种现象表明有两种电：**玻璃电**和**树脂电**。

美国的学者B. 富兰克林对电十分感兴趣，他认为电是一种流体。当玻璃受到摩擦时，电就流入玻璃棒，使玻璃棒带“正电”。而当琥珀棒受到摩擦时，电就流出琥珀棒，使琥珀棒带“负电”。并且，当一根带负电的棒和一根带正电的棒接触时，电流将从正的一方流向负的一方，直到达到电中性平衡。

这是一个相当精辟的推论。如果我们用**电子**代替B. 富兰克林所说的**流体**，并且将流向反过来(实际上电子流从琥珀流到玻璃)，他的猜想基本上是正确的。

在1740年，法国的发明家德萨居利埃提出，将电流能在其中自由流动的物体(例如，各种金属)称为**导体**；将电流不能在其中自由流动的物体(例如，玻璃和琥珀)称为**绝缘体**。

实验发现，如果导体被玻璃或空气层绝缘起来，则大量电荷便逐渐积蓄在导体上。最令人注目的是**莱顿瓶**，它是德国学者克莱斯特在1745年发明的，但实际使用的却是几个月后在荷兰的莱顿

大学由荷兰学者穆申布鲁克独自制成的莱顿瓶。莱顿瓶是现代称为**电容器**的一个例子。电容器是由中间夹有一层薄薄的绝缘体的两片导体构成的，其中一片能储存电荷。

在莱顿瓶里，电荷经由穿过木塞的铜链储存在玻璃瓶内的锡箔上。当你接触充过电的瓶子时，会受到令人难受的电击。莱顿瓶还能产生火花。当然，物体带电量越大，电荷逃脱的趋势越强，使电子由电子过多的区域（负极）转移到电子最缺少的区域（正极）的力，称为**电动势**或**电位**。电位够高时，电子甚至能够越过正、负两极间的绝缘隙。这样，电子就跨过两极间的空隙而产生明亮的火花和噼啪声。明亮的火花是由于无数的电子和空气分子碰撞所引起的，而噼啪声是因为急速加热的空气膨胀，随之被冲入瞬时生成的部分真空的冷空气拍击而产生的。

当然，有人会想到，天空打雷打闪现象是否和放大的莱顿瓶效应一样？英国学者 W. 沃尔在 1708 年就提出了这种看法。这种看法使 B. 富兰克林在 1752 年进行了他的著名实验。他在风筝上扎上一根细铁丝，铁丝上系有一条丝线。在雷电交加的日子，将风筝放上天空。当 B. 富兰克林的手接近系在丝线上的金属钥匙时，钥匙上有火花产生（见图9－3）。富兰克林又使钥匙带上云层中的电荷，然后用带电的钥匙去给莱顿瓶充电，结果，莱顿瓶同样也充上了电。这样，B. 富兰克林就证明了雷雨云里充满电荷，雷声和闪电正是天空的莱顿瓶效应，其中的云层和地面就是两个电极。

就 B. 富兰克林本人来说，做这个实验最幸运的事就是未丧命。有些人做这种实验而致命，这是因为风筝上的细铁丝蓄积的感应电荷对手持风筝线的人产生了致命的放电。

B. 富兰克林立即将理论上的这种进展付诸实际应用，发明了**避雷针**。避雷针的构造很简单，由一支装在建筑物最高点的铁棒和接到地面的导线构成。铁棒的尖端吸取云层里的电荷，经导线

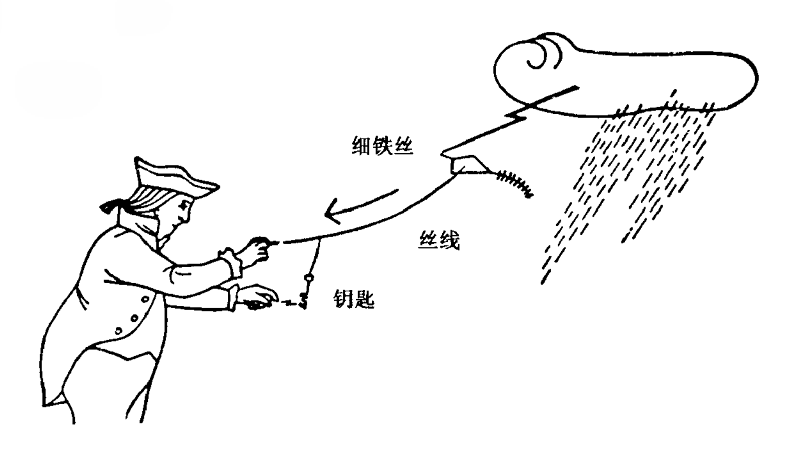


图9 3 富兰克林的实验

安全地通到地面上。如富兰克林的实验表明,万一受雷击,电荷便安全地接地。

全欧洲和美国都在建筑物最高点上装设避雷针,此后,雷电造成的灾害便明显降低,这是一项不小的成就。但是,在每年20亿次闪电之中,平均每天仍有20人被击身亡,80多人被击伤(均为估计数字)。

B. 富兰克林的实验产生了两种如电击般的效果:第一,整个世界突然对电充满了兴趣;第二,就文化而言,他使美国领土能够出现在地图上。他是第一位能够在理性时代先进的欧洲人面前展露科学家能力的美国人。25年之后,B. 富兰克林代表刚诞生的美国到凡尔赛请求协助时,受到了盛大的款待,不只因为他是一个新共和国的使节,也是因为他是一位驯服了闪电,并把闪电引导到地下,具有大智的伟人。他的风筝对美国的独立,贡献甚大。

继B. 富兰克林的实验之后,电学的研究突飞猛进。1785年,法国的物理学家库仑完成了带电物体吸引力和排斥力的定量测

定。他的实验结果表明，电荷的吸引力(或排斥力)与距离的平方成正比，这一点和重力类似。为了纪念这个发现，采用**库仑**来表示电量的一个通用单位。

动电

不久之后，电学的研究有了更新奇、更丰富而且更令人惊讶的转变。在这之前，我们所讨论的都是静电，静电是指物体上所带的而且停留在物体上的电荷。电荷的移动，也就是电流或**动电**，是由意大利的解剖学家伽伐尼首先发现的。1791 年，他无意中发现，如果将两种不同的金属同时接触解剖的青蛙的大腿，会引起青蛙大腿肌肉的收缩。

青蛙大腿肌肉的上述收缩反应和莱顿瓶放电刺激肌肉的反应一样，所以伽伐尼认为肌肉里有他所谓的**动物电**。另外，有些人认为，电荷的来源可能是两种金属的接点，而不是肌肉。1800 年，意大利物理学家伏打研究了不同金属的组合，并用溶液代替肌肉组织来连接不同的金属。他开始使用不同的金属片串在一起，然后连接两个盛有半杯食盐水的杯子。为防止盐水溢出，他准备了一些小铜片和小锌片，把它们交替叠加起来。他还做了一些用盐水浸湿的纸卡片。这样，他的**伏打电堆**就由银片、纸卡片、锌片、银片、纸卡片、锌片……依次叠置而成。电流能从这种装置持续地流出。

任何这样的连续重复的装置都可称为**电池**。伏打的装置便是第一个电池(图 9-4)。直到一个世纪以后，科学家们才知道化学反应中有电子转移，以及用电子的移动和流动来解释电流的发生。然而，在此之前，虽然他们不完全了解电流的原理，但会使用。

戴维利用电流来分开紧密结合的分子中的原子，在 1807 年和 1808 年首次制备了钠、钾、镁、钙、锶、钡等金属。法拉第(戴维的

助手和被监护人)继续研究分开分子(**电解**)的一般规律。半个世纪之后,他的研究引导阿伦尼乌斯提出了离子离解假说(见第五章)。

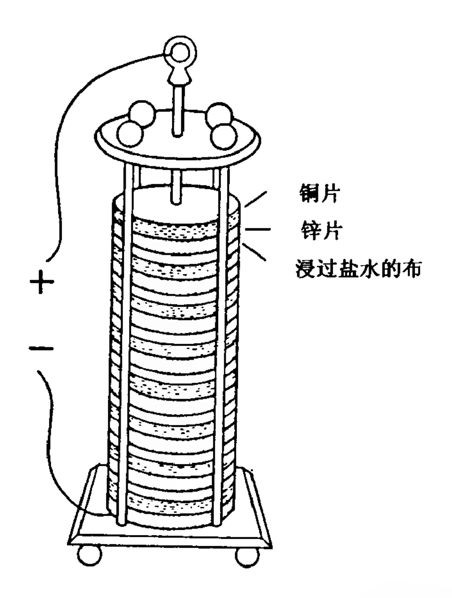


图9 4 伏打电池。相接触的两种不同金属片产生电子流,借助盐水浸过的布从一个电池传到另一个电池。如今的干电池或电筒电池用碳和锌做材料,是在1841年由本生首先制成的

伏打电池发明之后的150年间,由于动电的用途广泛,静电不被重视,甚至被视为历史的陈迹。然而,智慧和知识永无止境。1960年,美国的发明家卡尔森利用局部性静电引力将碳黑粉吸附到纸上,制成复印装置。这种复印装置不需要溶液或湿介质,称为**静电印刷术**(源于希腊文"干写"的意思),从而改革了办公室的工作程序。

一些早期的电学研究者的名字被永远定为电学各种量度单位

的名称。前面提到,**库仑**为电量单位。另一个单位为**法拉第**,1 法拉第等于 96 500 库仑。法拉第的名字还被用作电容单位:**法拉**。另外,为了纪念法国物理学家安培,电流强度(在一定时间内通过电路的电流量)的单位称为**安培**(见第五章)。1 安培等于每秒 1 库仑的电流。为了纪念伏打,电动势(驱动电流的力)的单位称为**伏特**。

一定的电动势在不同的电路上并不能驱动相等的电流。在良导体上能驱动大量电流,在不良导体上只能驱动小量电流,而非导体上实际没有电流通过。1827 年,德国数学家欧姆研究电流受到的**电阻**时发现,在一定的电动势下,电路上电流大小与电阻有精确的关系。取伏特数与安培数之比值就能算出电阻值,这就是**欧姆定律**,电阻的单位为**欧姆**。因此,1 欧姆等于 1 伏特除以 1 安培。

发电

由化学能转换为电能(如伏打电池等),通常比较昂贵,因为所用的化学物质比较少而且贵。因此,在 19 世纪初期,虽然实验室里可以方便地使用电能,但是在工业上不可能大规模使用。

人们有时试图利用一般燃烧所产生的化学反应作为电能来源。像氢(煤更好)这种燃料要比锌、铜等金属便宜得多。早在 1839 年,英国的科学家格罗夫设计了利用氢、氧化合的电池。尽管这种电池令人注目,但是并不实用。近年来,物理学家们努力研究实用的**燃料电池**。原理都了解,只是实际上的困难有待克服,这些问题很难解决。

在 19 世纪末,电能开始大量使用时,电的来源并不是电池,这不足为奇,因为在 19 世纪 30 年代法拉第就利用导体在磁铁磁力线中的机械运动来产生电能(图 9 - 5,并见第五章)。在这样的**发电机**(源于希腊文"力量")里,运动的动能可以转变成电能。可以

用蒸汽动力来做这种运动,而蒸汽则是燃烧燃料而产生的。这样,比燃料电池间接一些,燃烧煤或油(以至木材),将获得的热能转换成电能。到了 1844 年,上述大型发电机已用来驱动机器。

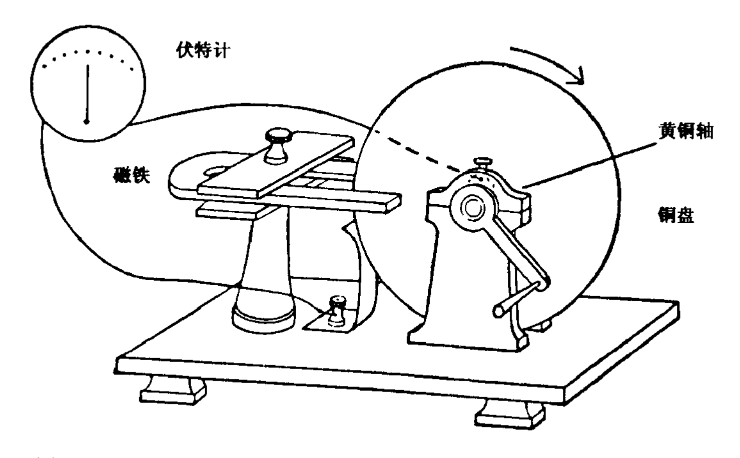


图 9-5 法拉第的发电机。旋转的铜盘切割磁铁的磁力线,在伏特计上产生感应电流

十分需要更强力的磁铁,以求做切割强磁力线的运动时能产生更大的电流。而这些强力磁铁的制造又必须利用更强的电流。1823 年,英国的电机实验家斯特金把裸铜线在 U 形铁棒上绕 18 匝,形成一个**电磁铁**。当接通电流时,产生的磁场都集中在铁棒上,这时铁棒能举起相当于铁棒本身重量的 20 倍的铁物,而切断电流时,铁棒的磁力消失,不能举起任何铁物。

1829 年,美国的物理学家亨利用绝缘漆包线来缠绕铁棒,大大改进了这种装置。一旦使用绝缘漆包线,就可以绕成一层层紧密回路,没有短路的危险。每多绕一圈,磁场强度和电磁铁磁力就随之加强。1831 年前,亨利已造出一个能提起 1 吨重铁的电磁铁,而且体积不大。

用电磁铁显然能制造较好的发电机。1845 年,英国物理学家惠斯通利用电磁铁制成了发电机。麦克斯韦对法拉第 19 世纪 60 年代的研究结果所作的数学解释,可以较好地说明磁力线的理论(见第五章)。1872 年,德国电气工程师黑夫纳－阿尔特纳克设计了第一台真正有效的发电机。后来终于可以利用水力便宜地发电,从而不仅利用燃料发电,而且还利用水力发电。

电在技术方面的早期应用

电在技术方面的早期应用的研究,较大部分应归功于亨利。亨利在电应用上的第一项发明是**电报**。他设计了一套使用继电器的电路系统,能够用电线把电流传送到好几公里远的地方。电压保持一定时,带电阻的电线上的电流强度随着传导距离的增加而减弱。亨利设计的继电器就是利用微弱的电流信号来驱动一个小小的电磁铁,而这些每隔一定距离所设置的电磁铁就启动一个放大信号的开关。这样,编码的电脉冲信号就可以传送到相当远的距离。实际上,亨利建立了上述工作方式的电报通信。

由于亨利是一位不同于世俗的人,他认为知识应当由全世界共享,因此没有为自己的发明申请专利,也没有因此项发明而获得荣誉。这项光荣最后落在艺术家莫尔斯身上,他依靠亨利的无偿帮助,在 1844 年制造出第一台实用的电报机。莫尔斯对电报的主要贡献是他发明了由点和线系统组成的著名的**莫尔斯电码**。

亨利在电学方面最重要的研究成就是电动机。他的研究表明,正如轮子的转动能发电一样,电流也能用来转动轮子,而且用电转动的轮子(电动机)可以用来带动其他机器。这种电动机到处都可以安装,可以任意开或关(不必像蒸汽机要先烧好足够的蒸汽才能开动),而且可以按所需尺寸建造(图9－6)。

问题是必须把电由发电厂传送到使用电动机的地方。因此必

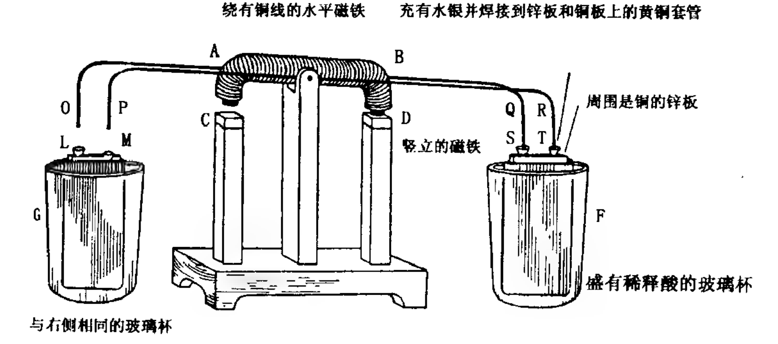


图 9-6　亨利的电动机。右上方的磁棒 D 吸引绕线磁铁 B，把长的金属插头 Q 和 R 插入黄铜套管 S 和 T，S 和 T 就是湿电池 F 的两个端电极。电流流入水平磁铁时，产生电磁场，把 A 和 C 吸在一起。整个过程又在另一端重复，水平磁棒就这样上下摆动

须研究某种方法使电在电线上传输时减少能量损失(以散热的形式)。

一种方法是用**变压器**。电流实验者们发现，如果电线上电流减小，那么能量损耗会大大降低。因此，将发电机的输出端接到变压器，使电压升高若干倍，例如，升高 3 倍，则电流减小到 1/3。在接收站，可使电压再降下来，因此，电流又相应地增大，供电动机使用。

变压器的工作原理是利用**初级绕组**的电流在高压端**次级绕组**中产生感应电流。这样的感应作用需要改变次级绕组的磁场。因为直流电无法产生这种效果，所以使用一种连续变化的电流，先升高到一个峰值，然后下降到零，再以相反方向达到负峰值，反复变化，这就是**交流电**。

交流电与直流电经过一番竞争之后，才占了上风。19 世纪最后 10 年，电学领域内最伟大的研究者爱迪生赞成使用直流电，并在 1882 年在纽约市建立了第一个直流发电厂来供给他发明的电

灯的电流。他反对交流电的理由是交流电比较危险(例如,处死刑的电椅就使用交流电)。然而爱迪生的主张受到特斯拉的强烈反对,特斯拉是爱迪生手下的一名工程师,而且受到不平等的待遇。1888年,特斯拉研制出一套成功的交流电系统。1893年,交流电的支持者威斯汀豪斯击败了爱迪生,为他的电气公司取得了建造尼亚加拉瀑布城交流发电站的合同。在以后的几十年里,施泰因梅茨以严格的数学基础建立了交流电理论。如今,在电力传输系统上几乎全是交流电的天下。1966年,美国通用电器公司的工程师们建造了一台直流变压器(长久以来认为是不可能建造的),但必须在液氦温度下运转,而且效率很低。原理上是很理想的,但现今似乎没有实用价值。

电 技 术

蒸汽机是一种**原始发动机**,它将自然界现有的能源(木材、油和煤的化学能)加以转换而做功。然而,电力机不是原始发动机,它将电能转换为功,但电能本身的来源是燃料的燃烧或水位差。因此,对于负载重的工作,电力要比蒸汽贵得多。但是,电力也能应用于较重的工作。在1879年的柏林展览会上,一辆电动机车(利用第三条铁轨作为电流来源)成功地推动了一列客车。如今,电力机车已经十分普遍,尤其是在都市的快速运输方面,因为电力机车清洁,操纵方便,因而补偿了增加的费用。

电话

电之所以能够一展所长,正是在于它完成了蒸汽无能为力的工作。以电话为例,它是在1876年由在英格兰诞生的发明家A. G.贝尔发明的。电话的话筒上有一片薄的铁质振动膜,讲话

者发出的声波打在振动膜上,振动膜便随着声波波形振动,因而产生一个模拟电流的波形,其中电流的强弱就是声波振幅的大小。在电话听筒上,也是用电流强度的变化来制动一个电磁铁,从而使听筒上的振动膜发生振动,使声波再现。

早期的电话技术并不成熟,效果也不佳。即使如此,电话仍在1876年在费城举行的美国独立100周年展览会上博得好评。参观展览的巴西皇帝佩德罗二世试用之后,惊讶地放下听筒说道:“它能说话!”这句话成了当天报纸的头条新闻标题。另一位参观者开尔文勋爵同样印象深刻。此外,伟大的麦克斯韦对于人类的声音居然可以靠这种简单的装置再现,也感到惊奇。1877年,维多利亚女王接受了一部电话,于是电话的成功被肯定。

还是在1877年,爱迪生对电话装置做了重大的改进。他制造的一种新式话筒,其中有松散装填的碳粉,当振动膜挤压碳粉时,碳粉便传导较多电流,而当振动膜离开碳粉时,碳粉传导较少电流。利用这种方式,声波被话筒转换成高保真变化的电流脉冲,而且听筒中再现的声音的清晰度也有很大改进。

如果不使用粗铜线(电阻小),电话信号无法传送很远。19世纪末到20世纪初,南斯拉夫出生的美籍物理学家浦品发明了一种方法:在细铜丝上每隔一定距离加上一个电感线圈。这种装置能放大声音信号,并能远距离传送。1901年,贝尔电话公司购买了这套设备,到1915年,纽约和旧金山的电话线路开始通话,于是长途电话成为事实。

在拨号电话问世(1921年)以前,电话接线员一直是不可缺少的。随着电话自动化不断发展,到1983年,成千上万名电话职工罢工两个星期,而电话业务并没有因此而中断。最近,无线电通信和卫星通信使得电话的用途更加广泛。

录音

1877年,也就是在电话发明的一年之后,爱迪生发明了**留声机**。最初的唱片是一张包在圆筒上的锡箔片,锡箔片上刻有凹槽。1885年,美国发明家泰恩特以蜡制的圆筒代替贴上锡箔片的圆筒,然后在1887年,柏林纳推出涂蜡的圆薄片。1904年,柏林纳做了一项更重要的改进:使用扁平的留声机唱片,让唱针在扁平唱片凹槽的两边来回摆动。这种小巧的唱机马上就取代了爱迪生的圆筒式唱机(唱针在凹槽里上下振动)。

1925年,开始借助电利用**麦克风**录音。麦克风中采用一片压电晶体①来代替金属振动膜,使声音转换成模拟电流,而压电晶体能使再现的声音音质更好。20世纪30年代,开始使用起放大作用的真空管。

1948年,匈牙利血统的美国物理学家戈德马克发明了一种**密纹唱片**,这种唱片不采用传统的每分钟78转而改用每分钟33½转。一张密纹唱片的容量是旧式唱片容量的5倍,因此用它来听交响曲就不用换面或换片了。

电子技术使**高保真**和**立体声**成为可能,音响效果实际上把乐队或演唱者和听众之间的一切机械性障碍完全消除。

磁带录音是在1898年由丹麦的电气工程师浦耳生发明的,但经过某些技术改进后才变得实用。一个使电流随声音波形的变化而变化的电磁铁,把经过它的磁带或磁线上的粉末磁化,完成录音。放音时,使用一个拾磁迹的电磁铁再转换成电流,声音再现。

发明电以前的人工照明

电的各种功能中,最受欢迎的莫过于把黑夜变成白昼。人类

① 现在,用驻极体代替压电晶体,音质尤佳。——译注

曾经使用过营火、火把、油灯和蜡烛来增进人类在日落后的活动能力,大约有 50 万年之久,人工照明一直是微弱而闪烁不定的。

19 世纪,古老的照明方法有了许多改进,鲸鱼油和煤油开始用来点灯,使油灯更亮、更有效。奥地利的化学家韦耳斯拔研究发现,如果把一个浸有铯和钍化合物的圆筒形纱罩安置在灯焰周围,可使灯火变成闪亮的白色。1885 年取得专利的**韦耳斯拔纱罩**,使油灯的亮度大为增强。

19 世纪初,苏格兰的发明家默多克发明了煤气灯,把煤气充入一个有喷嘴的瓶内,然后由喷嘴喷出再点燃。1802 年,他为了庆祝英国与拿破仑达成了暂时和平,举行了一次别开生面的煤气灯展览大会。在 1803 年之前,他已开始使用煤气灯来照明他的主要工厂。到 1807 年,一些伦敦的街道也开始使用煤气灯来照明,从此广为流传。随着时代的进步,大城市的夜晚越来越明亮,不但降低了犯罪率,而且增进了市民的安全保障。

美国的化学家黑尔研究发现,炽热气体火焰喷在一块氧化钙(石灰)上,会产生明亮的白光。这种**石灰光**用于戏院舞台照明,它的亮度是前所未有的。

从火把到煤气灯都是使用火焰照明。如果附近没有火源,必须有某种装置来点燃燃料(可以是木材、煤、油或煤气)。19 世纪以前,最方便的点火方法是使用钢和火燧石,把钢和火燧石互击就产生火花,碰巧,火花就能点燃**火绒**(细分散的易燃物),然后火绒的火就能点燃蜡烛等等。

19 世纪初期,化学家们开始试着把易燃的化学物质涂在一小片木材的一端,温度升高时易燃物就会突然燃烧起来,这样的一小片木材就是**火柴**。摩擦可以提高温度,所以把火柴在粗糙的表面摩擦就可以点燃而产生火焰。

最早的火柴使用的化学物质具有毒性,点燃时会冒出讨厌的

浓烟,并产生恶臭。1845 年,奥地利的化学家施勒特尔改用红磷作为火柴棒上的易燃物,火柴的使用才真正安全。最后研制出的**安全火柴**,是把红磷涂在火柴盒的粗面纸条上,火柴头部为其他所需的化学物质。火柴头和涂有红磷的纸面都无法单独起火燃烧,但是我们把火柴头在涂有红磷的纸面一划,火柴就被点燃。

另外,在钢和火燧石点火方面也有长足的进步。发火合金①代替了钢,用一个小圆轮摩擦它,就可以产生炽热的火花。易燃**液体燃料**取代了火绒,结果就构成**香烟打火机**。

电灯

所有直接和外界接触的火焰都会不停地跳动,有引起火灾的危险,因此需要另一种新方式照明。长久以来人们就注意到,电能够发光。莱顿瓶放电时产生火花;电流流过电线时,有时也会使电线发出辉光。这两种发光系统都已用来照明。

1805 年,戴维给两片导体通上电流,使两片导体之间的空气间隙放电。保持电流不断,放电就继续下去,产生**电弧**。后来,电比较便宜,用**电弧灯**照明成为可能。19 世纪 70 年代,巴黎和其他城市的街道使用了这种灯。电弧灯发出咝咝的声音,明暗闪烁,也是开式的,也有引起火灾的危险。

更好的方式是用电流加热一条细丝(灯丝),直到发光。当然,必须在没有氧的情况下,灯丝才能发出辉光,否则一经加热,灯丝马上被氧化。早期试图直接将空气抽走,以排除氧。1875 年,对阴极射线有研究的克鲁克斯(见第七章),为上述目的设计出能产生高真空的方法,不但快速而且经济。虽然如此,灯泡中所用的灯丝仍然容易烧断。1878 年,刚刚发明了电唱机的爱迪生,宣称他

① 稀土金属混合物,主要是铈。——译注

将要解决这个问题。当时他仅 31 岁,可是他已经是一位享有盛名的发明家,他的宣称竟然使煤气公司的股票在纽约和伦敦的股票交易所下跌。

爱迪生经过数百次实验和无数次失败之后,终于找到了一种适合做灯丝的材料——烧焦的棉丝线。1879 年 10 月 21 日他点亮了这个灯泡,灯泡一直亮了 40 个小时后灯丝才被烧掉。就在翌年的除夕夜,爱迪生在新泽西州的门洛帕克(它的实验室就在此城)的主要街道上都点上了他所发明的电灯,得意地公开展示。不久,爱迪生的灯泡就取得了专利权,并开始大量生产。

然而,爱迪生并不是惟一发明白炽灯泡的人。至少有另一位发明家——英国的斯旺,也宣布了同样的发明。1878 年 12 月 18 日在纽卡斯尔举行的化学学会会议上,他展示了一个碳丝灯泡。但是直到 1881 年,他的灯泡才正式生产。

爱迪生继续研究给使用电灯的家庭提供稳定和充足的电力的问题,这是一项和发明电灯一样费力的工作。后来,对灯泡做了两项主要改进:1910 年,通用电器公司的库利吉采用耐热的钨金属做为灯丝材料(图 9-7);另外,1913 年,朗缪尔把惰性气体氮充入灯泡,防止灯丝在真空中容易氧化或容易断裂。

氩(1920 年开始使用)充入灯泡的效果比氮好,氩是纯惰性气体。另一种惰性气体氪效果更好,可使灯丝热到更高温度,发出更亮的光,而不减少寿命。

经历了半个世纪,灯泡透明的玻璃和光亮的灯丝就像太阳一般,令人难以张目直视。后来,一名化学工程师皮普金设计了一种蚀刻灯泡内层玻璃的实用方法(灯泡外层玻璃的蚀刻用来收集灰尘,并减小灯光亮度)。使用**毛玻璃灯泡**能产生一种柔和、舒适、稳定的光线。

电灯的问世有可能抛开火焰照明设备,从而使火灾成为过去。

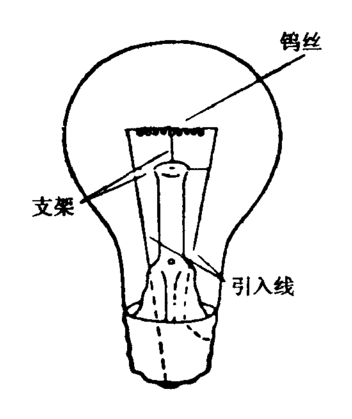


图 9-7 白炽灯泡

不幸的是,开放式火焰依然存在,而且可能永远都会存在——营火场、煤气炉或油炉。最不幸的是,数以亿计的吸烟者所带的香烟和打火机便是开放式火焰的来源。每年生活中由吸烟引起的火灾(包括森林大火、灌木林火和房屋建筑等火灾)造成的损失不计其数。

用灯丝来发光的灯泡(**白炽灯**名称的由来就是因为全靠灯丝阻止电流流通所产生的热量来发光),并不是将电转换成光的惟一方法。例如,1910 年由法国化学家克洛德发明的**霓红灯**,就是在管子内由电荷放电来激发氖原子放射出明亮的红光。**日光灯**的灯管里充有水银蒸气,水银蒸气被放电激发就会产生含大量紫外线的辐射。紫外线不但可以晒黑皮肤,而且可以杀死细菌,还可以产生荧光。紫外线能产生荧光的性质导致了**日光灯**(荧火灯)的诞生。日光灯在 1939 年举行的纽约世界博览会上公诸于众,当时已是现在的形式。由水银蒸气发出的紫外线激发涂在灯管内壁的**磷**,而产生荧光(图 9-8)。由于这种冷光产生很少的热能,因而省电。

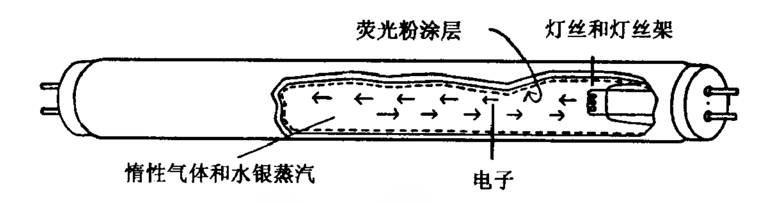


图 9-8 日光灯。由灯丝产生的电子激发灯管内的水银蒸气,引发紫外线,紫外线使磷发出荧光

一支 40 瓦的日光灯比一支 150 瓦的白炽灯亮得多,但是热量少得多。所以从第二次世界大战后,一般人都倾向于使用日光灯。早期的日光灯并不是使用磷,而是使用铍盐,可是吸进含有铍盐的灰尘,或是被破裂的灯管割伤,都会造成严重的中毒(**铍毒症**)。1949 年以后,毒性小得多的磷才被使用。

新近最有希望的发展是使电直接转变成光,这种方法不需先产生紫外线。1936 年,法国物理学家德斯特劳发现,强交流电可以使磷发出如同硫化锌般的亮光。现在,电气工程师们将磷分布在塑料或玻璃中,利用这种所谓**电致发光**现象来制造一种发光板。这样,荧光墙或荧光天花板就能照亮整个房间,使房间充满柔和而多彩的光辉。但是,电致发光效率太低,无法和其他电力照明方法竞争。

摄影术

有关光的各种发明中,或许没有一项能比摄影给人类带来更多欢快。它的起源是观察光线通过针孔射进一个暗室时,暗室外的景物在暗室内形成一幅上下颠倒的朦胧影像。这种装置大约是在 1550 年由一位意大利炼金术士波尔塔制造的,称为**针孔照相机**。

在针孔照相机里,通过针孔的光线非常稀少。但是,如果用一个透镜代替针孔,大量光能够会聚在焦点上,影像也就明亮许多。这个问题虽然解决,但仍须寻求光敏的化学反应。许多人在这方面做了研究,其中包括著名科学家法国人尼埃普斯和达盖尔以及英国人塔尔博特。尼埃普斯试着利用阳光以适当方式使氯化银变黑,他在 1822 年拍出了第一张原始照片,可是曝光时间整整花了 8 小时。

达盖尔是尼埃普斯生前的研究伙伴,尼埃普斯死后,他继续改进显像方法:当日光把银盐晒成黑色时,就用硫代硫酸钠来溶解那些未发生变化的盐类,这一方法是 W. 赫歇耳之子 J. 赫歇耳提出的。1839 年,达盖尔提出了最初的实用照像法——**银板照像法**,曝光时间不超过 20 分钟。

塔尔博特进一步改进,制出了负片,负片上被光照的地方显黑暗,冲洗后黑暗处成为明亮,而明亮处成为黑暗。利用这种负片可以洗印出许多正片,正片上光线与负片正相反,明亮处与黑暗处都同于原景物。在 1844 年,塔尔博特出版了第一本附照片插图的书。

摄影继续证明了它对人类事件描述方面的价值。19 世纪 50 年代,英国人拍下了克里米亚战争景象;19 世纪 60 年代,美国摄影师布雷迪用难以想象的简陋摄影器材,拍下了当时美国进行南北战争的一些经典性照片。

20 世纪 50 年代前,采用**湿板**摄影。湿板是涂有一层化学感光乳剂的玻璃板。拍摄必须在乳剂干燥前完成。长久以来都无法解决这种限制,只有技术熟练的摄影专业人员才能拍摄照片。

然而,1878 年,美国发明家伊斯曼发现,可以将乳剂和凝胶混合,然后涂在底板上,使它干燥成稳定的胶膜,就能长时间保存。1884 年,他先是将凝胶涂在纸上;1889 年又改为涂在赛璐珞上面。

他的这种摄影底片获得了专利权。1888年,他发明了柯达相机,这种相机只要一按按钮就可以拍下照片,然后再去冲洗感光的底片。如今,摄影已成为普遍的爱好。感光性能更好的感光乳剂开始使用后,只要闪光灯一闪就能拍下照片。不像过去那样,人们在镜头前必须长时间保持同样的姿势,不但呆滞无神,而且表情也不自然。

有人认为,摄影没有办法更简单化了,但是1947年,美国发明家兰德设计了一种双卷照相机,在胶卷和相纸之间有密封的化学试剂容器。化学试剂在适当时候释出,并自动显像印像。当你按下相机快门,几分钟之后就得到一张完好的照片。

19世纪期间,只有黑白照片,没有彩色照片。但是在20世纪初期,卢森堡出生的法国物理学家G. 李普曼发明了彩色摄影术,这项发明使他获得了1908年的诺贝尔物理学奖。这种摄影术后来是被证明是一个虚假的开始,一直到1936年,实用的彩色摄影术才研究出来。这次尝试相当成功,它的原理是根据麦克斯韦和亥姆霍兹在1855年观察结果:红、蓝、绿三种颜色的光适当地组合,可以产生光谱中的任一种颜色。根据这个原理,彩色底片包括三层感光乳剂:一层对影像的红色敏感,一层对影像的绿色敏感,一层对影像的蓝色敏感。三层虽然分立,但形成叠加的图像,每一层以黑白浓淡形式再现其在光谱中的亮度。然后将底片分连续三步显影,分别用红色、蓝色和绿色染色液在底片上染上适当颜色。图像上每一个点都是一个红、蓝、绿的特定组合,眼睛看照片时,大脑会把这些组合重新组合成全色。

1959年,兰德提出了新的彩色视觉理论。他认为大脑并不要求三种原色的光的组合来重新组合成全色。实际需要两种不同波长的光或若干组不同波长的光,其中一种波长要比另一种波长短一定的最小值。例如,若干组波长中的一组可能是全谱,即白光。

因为白光的平均波长处于黄色和绿色光的波长范围内，所以可将白色光当作“短”波长的光。那么，利用白色光和红色光（作为长波长的光）的组合，就能再现全色图象。兰德还利用经过滤色的绿色光和红色光的组合，以及利用适当的其他两种不同颜色的光的组合，拍出了全色照片。

电影的发明开始于1824年英国物理学家罗热的观察。他注意到，人的眼睛会产生持续几分之一秒的视觉暂留现象。自从发明摄影后，许多实验人员（特别是在法国）利用这个原理快速连续地放映一系列图像，使观看者对图像产生动作的幻视。我们迅速翻阅一系列画片时，看起来画片中的人好像在运动。如果我们把和前一张影像仅有轻微差别的影像依次排列，然后在荧光屏上以每1/16秒放映一张的速度放映，眼睛的视觉暂留影像就会使景物连在一起，并且产生连续动作的感觉。

爱迪生制作了第一部电影。他把一系列景物拍摄在一长卷底片上，然后用放映机放映底片，把每一张底片用强光连续投影在屏幕上。1894年，第一部为大众娱乐的电影首次展示；1914年，戏院放映了长篇电影**《一个国家的诞生》**。

1927年，无声电影加上了一种声道。这种声道也是以光的形式录入的，乐声和演员谈话声的波形经由麦克风转换成强弱不同的电流，这个电流点亮一盏灯，使灯的亮暗程度和影像的动作一起拍摄下来。放映底片时，底片上的景物就投射在屏幕上，随着声波波形变化的亮暗光线借助一支**光电管**利用光电效应再转换成电流，而电流再转换成声音。

在第一部**有声电影《爵士歌手》**问世后两年之内，无声电影便成为历史陈迹，甚至连歌舞杂耍表演几乎也无人问津了。20世纪30年代末期，彩色电影出现了。此外，20世纪50年代，发展了宽银幕电影和两卷底片同时投影到一个银幕上产生三维空间效果的

立体电影。看立体电影的观众必须戴上偏振眼镜,使每只眼睛分别看到分离的影像,组合起来就产生立体视觉效果,然而立体电影只流行了一段短时间。

内 燃 机

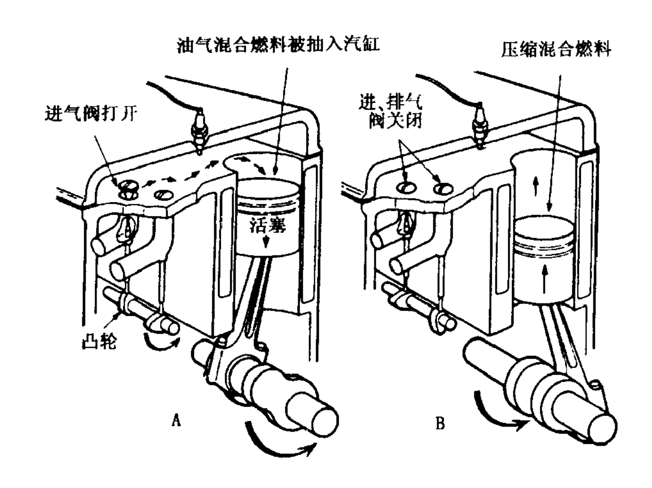
在石油馏分**煤油**照明被电气照明取代的同时,一种石油轻馏分汽油对另一项技术发展起了十分重要的作用。这项技术使现代生活变化程度之深,就像电气设备进入生活一般。这项发展就是**内燃机**。顾名思义,内燃机是利用燃料在发动机汽缸中燃烧产生的气体直接推动活塞。一般的蒸汽机都是**外燃机**,燃料先在外部燃烧,然后将预先形成的蒸汽导入汽缸。

汽车

这种紧凑的装置可以利用汽缸内的小规模爆炸为小型车辆提供原动力,庞大的蒸汽机不适用于这种目的。事实上,早在 1786 年,不用马拉的蒸汽驱动的车辆已由默多克设计出来。一个世纪后,美国发明家 F. E. 斯坦利发明了著名的斯坦利蒸汽机,与配置内燃机的早期车辆进行了竞争。然而,后者有发展前途。

实际上,一些内燃机在 19 世纪初石油未广泛使用前就已建造。它们以松节油蒸气或氢作燃料。但是,惟有既易燃又可以大量得到的汽油,才使内燃机成为非希奇之物。

第一部实用的内燃机是在 1876 年由法国发明家勒努瓦制造的。他用这部内燃机推动一辆小车,成为第一部以内燃机作动力的无马马车。1876 年,德国技师奥托得知勒努瓦的发动机后,设计了一种四冲程发动机(见图 9 - 9)。发动机运转时,首先由一个紧密装在汽缸内的活塞向外推,把汽油和空气混合物抽入真空的汽缸中,



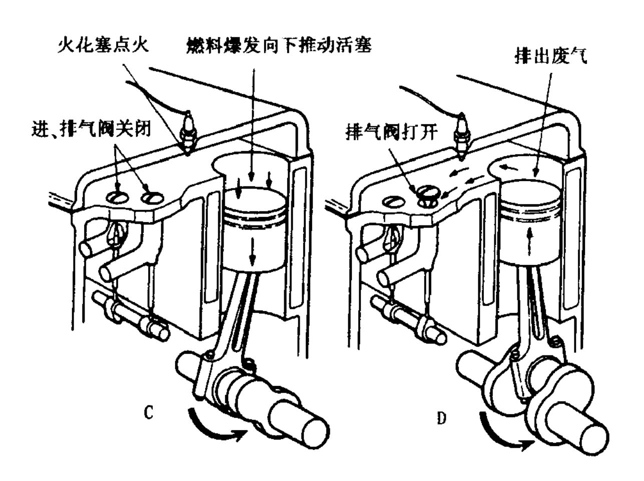


图 9-9 奥托的四冲程发动机,建造于 1876 年

然后活塞再向内推,压缩汽缸内的气体。压力达到最大时,混合气体便燃烧爆炸,爆炸力向外推动活塞,以此使发动机发出动力,带动

一个轮子,使活塞再向里推,把**废气**排出,这是第四步,也是最后一步。接着,轮子再向外推动活塞,冲程重新开始。

不久,一位名叫克拉克的苏格兰工程师改进了这种发动机。他接入第二个汽缸。这样,一个汽缸中的活塞复位时,另一个就开始工作。这种方法使动力输出更趋稳定。后来,接入的汽缸越来越多(现在一般是八缸),这种**往复式发动机**增加了稳定性和输出功率。

要想把汽车设计得更为实用,发动机是关键,但还要有一些辅助性发明。例如,油气混合气体如何在最恰当的时刻燃烧,便是一个问题。人们试用了各种方法,但都不能取得满意的效果;到1923年,利用电能成为普遍可行的方法。发动机所需的电能由**蓄电池**提供。蓄电池同其他类型的电池一样,也是靠化学反应产生电能,不同之处只是可以反复充电,充电方法是按放电的逆反应方向通入电流,使放电的化学反应逆行,从而达到充电的效果。至于电流则是由发动机带动的一台小型发电机供给的。

最普通的蓄电池为交替置于适当的浓硫酸槽内的铅板和氧化铅板。这种电池是法国物理学家普朗泰在1859年发明的。后来,美国电力工程师布拉什在1881年把它改进成现在的样式。在此之后,更耐用、更小型的电池(如1905年爱迪生发明的镍-铁电池)陆续问世,但在经济效益上都比不上铅蓄电池。

蓄电池的供电储存在叫做**感应线圈**的变压器的磁场内,这个磁场消失时会升高电压,在火花塞的火花隙上点火。

内燃机一旦点燃,惯性便会使它在各动力冲程间保持运转,但是在这之前,发动机必须依靠外界能量来启动。启动方式最初是用手,例如老式汽车的曲柄。直到今天,外装马达和动力剪草机仍靠猛拉绳索启动。启动汽车需要用很大力量摇动曲柄。发动机开启转动后,曲柄往往会突然脱手而打伤手臂。1912年,美国发明家凯特林发明了**自动启动机**,最终取代了曲柄。这种启动机由蓄电池供

给电能,启动发动机运转。

第一批实用汽车分别由德国工程师戴姆勒和本茨在 1885 年制造成功,然而真正使汽车成为大众化交通工具的却是**大规模生产**技术的发明。

首创大规模生产技术的是美国的惠特尼。而使惠特尼名声大噪的并不是由于他发明了大规模生产技术,而是由于他发明了轧棉机,两者相比,前者的贡献要大得多。1789 年,惠特尼与联邦政府签订了一份为军队制造枪械的合同。在此之前,枪是一支一支地单独制成的,零件不能互换。因此,惠特尼开始设想如何把零件的规格统一起来,使之适用于任何枪支。这项简单的革新,即制造某种类型产品的可互换标准部件,也许就是现代工业大规模生产的起源之一。动力机床的问世,终于使大规模生产标准部件成为可能。

美国工程师福特是最先把惠特尼的设想充分发挥的人。他在 1892 年制造出他的第一辆双气缸汽车后, 在 1899 年到底特律公司任总工程师。公司的希望是按客户的要求生产汽车,但福特有自己的构想。于是他在 1902 年辞职,转而从事自己的大规模造车事业。1909 年,他开始制造标准 T 型车。1913 年,他着手按惠特尼的构想进行大规模生产: 汽车一辆接一辆出厂,每辆都一模一样,全部用相同规格的零件装配。

福特采取类似于使用机器的方法来利用人力,即让工人一成不变地反复从事相同的简单工作,从而加快生产速度。美国发明家科尔特(左轮手枪的发明人),在 1847 年朝着这一方向迈出了最初的步伐;汽车制造商 R. E. 奥尔兹在 1900 年第一次利用这个体系来制造汽车。后来,R. E. 奥尔兹由于资金短缺而由福特接手进行,并最终取得了令人满意的成果。福特建立起**装配线**,由工人们在各自的固定岗位上把部件安装到传送带送来的汽车组合体上,从装配线末端驶下的就是组装完毕的汽车成品。从经济角度来看,这种生产

系统有两大优点:一是可以提高工人工资;二是可以大幅度降低汽车售价。

到1913年,福特一天生产1000辆T型车,到1927年,生产线停止使用之前,已有14500万辆T型车出厂,价格降到290美元一辆。然而在这以后,消费者追求新型汽车占了上风,迫使福特顺应潮流,把设计重点集中在车型的变化和外观的新奇上,从而大幅度提高了汽车售价,使美国人失去了本应由大规模生产而带来的许多好处。

1892年,德国机械工程师狄塞耳研究出一种改进型内燃机,所采用的燃料简便而经济。他把油-气混合气体施以高压,再利用高压气体释出的热能引发自燃。**狄塞耳发动机**,即柴油机,使不会产生爆震的高沸石油分馏物也派上了用场。由于所用的压力更高,柴油机必须制造得更坚固,而比汽油机重许多。从20世纪20年代研制出优质的喷油系统之后,立即将柴油机用于卡车、拖拉机、公共汽车、船舶和列车机车等。如今,柴油机已无可争议地成为运输业之王。

同样,汽油本身的改进也提高了内燃机的效率。汽油是由碳和氢原子构成的复杂分子(烃)混合物,其中一些燃烧速度较快。但是,燃烧速度太快并不是人们所希望的,因为它会使油-气混合气体在多处同时爆炸,而使发动机爆震。反之,较慢的燃烧速度可以使气体均匀膨胀,平滑而高效率地推动活塞。

某种汽油的爆震程度通常由其**辛烷值**来计量。所谓辛烷值就是某种汽油的爆震程度与另一种混合气体爆震程度的比值,该混合气体是由高爆度的**正庚烷**和低爆度的**异辛烷**按比例混合而成的。精炼汽油的重要作用之一,就是生成高辛烷值的烃混合物。

另一方面,汽车发动机一直朝着高压缩比的方向发展,也就是说油气混合气体在燃烧前要压缩至更大的密度。压缩可使汽油产

生更大的能量，但同时也会增加其爆震的程度。因此，继续提高汽油的辛烷值是需要开发的课题。

其实，我们可以往汽油中掺入少量化学物质来降低爆震。其中最有效的**防爆震剂**是**四乙铅**。这种铅化合物的特性是美国化学家米奇利发现的，从1925年开始，就用于抑制爆震。含有四乙铅的汽油通称为**加铅汽油**或**乙基化汽油**。如果只往汽油中掺入四乙铅，汽油燃烧时生成氧化铅会堵塞并损坏发动机。因此，还要加入溴化乙烯。四乙铅的铅原子与溴化乙烯的溴原子结合成溴化铅，在汽油达到燃点时被汽化，并随着废气排出，从而延长发动机的寿命。

此外，柴油通常都要和一种叫**十六烷**的烃比较，进行压缩滞燃（滞燃值过高，不合要求）试验。十六烷的分子中含16个碳原子，而异辛烷只含8个。因此，人们用**十六烷值**评价柴油质量。

对汽车的改进仍在不断进行。1923年，低压轮胎问世，20世纪50年代，出现了无内胎轮胎，使爆胎事故大为减少。此外，在20世纪40年代，小卧车有了空调设备，自动排档投入使用，逐渐取代了变速器。20世纪50年代，动力转向和制动系统相继研制成功。如今，汽车已经成为美国生活方式不可缺少的一部分。除了汽油售价高涨与日益严重的污染外，似乎没有什么更大的意外能阻止汽车继续发展。

飞机

大型汽车是公共汽车和卡车，石油进一步取代煤而成为大轮船的燃料。然而，内燃机的最大成就却是来自空中。人类到了19世纪90年代，终于实现了一个比希腊神话中会飞的代达罗斯和伊卡罗斯还要古老的梦想——在空中翱翔。当时，滑翔成为冒险爱好者的时兴运动。第一架载人**滑翔机**由英国发明家凯莱在1853年制造成功，当时所谓载人只不过是载了一个小男孩。不幸的是，第一个

致力于实现此梦想的德国工程师利林塔尔在1896年的一次滑翔飞行中失事。尽管如此,滑翔作为一项运动一直长盛不衰,然而也就是从那时起,人们开始了对动力飞行的迫切追求。

美国物理兼天文学家兰利在1902—1903年试用内燃机来推动一架滑翔机,差一点就取得了成功,若不是后来他经济拮据,也许再进行一次试验就真的飞上天了。众所周知,这个荣誉最后归于制造自行车、以驾驶滑翔机为业余爱好的莱特兄弟。

1903年12月17日,在美国北卡罗来纳州的基蒂霍克镇,莱特兄弟使一架螺旋推进的滑翔机在空中停留了59秒,飞行距离达260米(852英尺)。这是历史上的首次飞机飞行,但在当时并未受到广泛注意。

直到莱特兄弟能飞行40多公里,而法国工程师布莱里奥第一次驾驶飞机横越英吉利海峡之后,飞机才引起公众的极大关注。第一次世界大战的空战和飞机创下的功绩进一步激发了人们的想象力。机翼由不安全的木条和铁丝固定的昔日的**双翼飞机**,只有看战后的一批电影才会了解到。第一次世界大战结束不久,德国工程师容克成功地设计出一架**单翼飞机**,这种飞机的机翼厚而坚固,不再用支架固定。没过多久,双翼飞机便完全被单翼飞机取代。1939年,俄国血统的美国工程师西科尔斯基制造出一架多引擎飞机,并设计出第一架螺旋桨在上面的、可垂直升降及盘旋的机种——**直升飞机**。

但是在20世纪20年代初期,飞机仍然是一种新奇之物——无非是一种更加可怕的战争工具或者是身怀绝技的飞行者和追求刺激的探索者手中的一种玩物。航空并没有真正开始。到1927年,林白从纽约到巴黎做首次不着陆飞行之后,全世界才为之疯狂。从那时起,人们开始研制更大型、更安全、性能更好的飞机。

自从飞机用作运输工具以来,飞机发动机取得了两个重要突

破。第一个突破是采用了涡轮喷气发动机(图9-10)。在这种发动机中,高温膨胀的燃料蒸气在涡轮的叶片上施加压力而使轮子旋

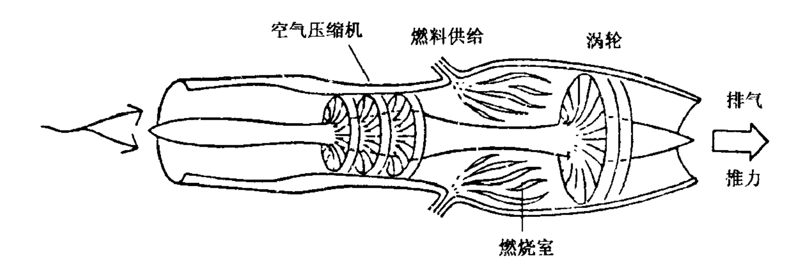


图9-10 涡轮喷气发动机、空气被吸入压缩后与燃料混合,导入燃烧室中燃烧,膨胀的气体推动涡轮机产生推力

转,取代了汽缸中活塞的往返动作。这种发动机操作简单,耗油少,不易损坏,但却需要研究出可以承受气体高温的合金才能投入实际应用。1939年,这种合金终于问世。从此,**涡轮螺旋桨飞机**便越来越普遍了。

但是没过多久,第二个重大突破——**喷气式飞机**便取代了涡轮螺旋桨飞机,至少在长途飞行上是如此。喷气式飞机的动力原理同于玩具气球开口泄气时喷出空气可将其猛然推进的道理。这便是作用与反作用.朝一个方向喷出的膨胀气体所产生的力,必然会在相反方向产生一个大小相同的力,如同子弹从枪筒射出时会产生后座力一样。在喷气式发动机中,燃料燃烧生成高温高压气体,气体从排气口喷出时便产生巨大的力,推动飞机前进。火箭也是用同样方法推进的,只是它必须本身携带供燃料燃烧的氧。

喷气推进的专利早在1913年就被法国工程师洛林所取得,但是当时的飞机还无法实际应用这种设计。喷气推进只有在时速645公里(400英里)以上时才有经济价值。1939年,英国人惠特尔终于首次驾驶一架道地的喷气式飞机飞行。到1944年1月,英国和美

国将喷气式飞机投入战场,用来对抗德国的**V-1飞弹**,一种前部装有炸药的无人驾驶飞机。

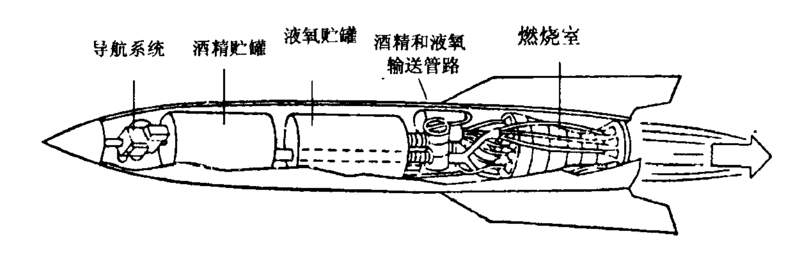


图9 11 简单的液体燃料火箭

第二次世界大战以后,军用喷气式飞机已发展到接近音速。音速取决于空气分子的天然弹性,即空气分子的振动能力。当飞机接近音速时,空气分子无法再让路,于是飞机前面形成一道压力,使飞机变形。因此,所谓的**音障**在当时认为是无法解决的难题:要想接近它,就必定造成损坏。然而,风洞试验找到将飞机设计成更佳流线型的途径。1947年10月14日,耶格尔驾驶的一架美国产X-1火箭飞机终于突破了"音障",成为历史上超过音速的第一人。1950年初,美国在朝鲜战争中使用了喷气式飞机。

物体在介质中的运行速度与音速(在0℃每小时1200公里)之比,称为**马赫数**。这是为纪念奥地利物理学家马赫而命名的,因为他率先在19世纪中叶从理论上研究物体在接近音速时的情况。20世纪60年代,飞机的速度已超过5马赫,这个速度是一架实验用的火箭飞机X-15达到的,火箭推进器把X-15送上万里高空,使飞行员当了一小会儿真正的宇航员。一般说来,军用飞机的速度比较低,而商用民航飞机的速度就更低了。

当飞机做**超音速**(马赫数大于1)飞行时,由于飞机的飞行速度比声波单独在空气中传播的速度快,所以它的前部总是携带其自身

发出的声波。这时如果飞机开始飞得足够低，被压缩成锥状的声波会与地面相擦而产生响亮的声震（甩动皮鞭发出的爆裂声是一种微声震，只要控制得当，皮鞭的末端可以甩出超音速的速度）。

1970年，英法联合研制的协和式超音速喷气客机开始投入商业飞行。它的速度是音速的2倍，只需3小时便能横渡大西洋。美国的模式是超音速运输机，但由于人们担心这种飞机会在机场附近产生强烈噪音并造成环境污染，终于在1971年宣告流产。有人指出，一种尖端技术研究成功后，因不实用而被扼杀，这在历史上还是第一次，这也是人类首开“能为而不敢为”的先例。

总的来看，采取这种措施无可厚非，因为坚持下去似乎得不偿失。协和式飞机在经济效益上失败了，就连苏联也难逃厄运——它的超音速计划在1973年因一架飞机在巴黎航空展览会上作飞行表演失事而夭折。

电 子 学

无线电

1888年，赫兹进行了麦克斯韦早在20年前就曾提出的无线电波实验（见第八章）。他的做法是将两个金属球隔开少许，然后轮流向这两个金属球加瞬时高压交流电。每当电压在一个方向或另一个方向达到峰值时，金属球间就会打火花。据麦克斯韦方程预算，在这种情况下应当产生电磁辐射。赫兹用相隔狭窄空隙的金属线圈作为接收器来检测辐射能量。每当电流使一个线圈产生辐射时，应当能使第二个线圈感应出电流。这足以肯定，赫兹能检测出由置于房间一端的辐射线圈所产生的并透过空气间隙而传到房间另一端的接收线圈上的小火花，能量是穿过空间而进行传递的。

将他的检测线圈移到室内不同的地点，赫兹能得出波形。凡是

火花极亮的地点,便是波的波峰或波谷;凡是无火花出现的地点,便是相邻波峰和波谷的中点。赫兹据此算出了辐射的波长,结果他发现这种波的波长远大于可见光的波长。

在这以后的10年中,许多人认为**赫兹波**能用来传递两地间的信息,因为它的波长足以越过地形障碍。1890年,法国物理学家布冉利改进了原有的接收器。他不使用金属线圈,代之以填充金属屑的玻璃管,用导线将该玻璃管与电池连接。金属屑并不传导电池的电流,除非受到高压交流电即赫兹波的感应。布冉利通过这种接收器可以在137米(150码)的距离外测出赫兹波的存在。随后,英国物理学家洛奇再次改进了接收装置,成功地接收到发自805米(半英里)以外的信号,并成功地传送了莫尔斯电码电报。

此外,意大利发明家马可尼发现,将发射器和接收器的一端接地,另一端用电线引出,能改善发报,这便是人们后来所说的**触角天线**——我想这名字是因为它的外形像昆虫的触角。1896年,借助于大功率发射机,马可尼已能将信号发送到14.5公里(9英里)之外;到1898年,信号已能越过英吉利海峡,而1901年,信号能跨过大西洋。至此,**无线电报**宣告诞生,简称无线电。

马可尼进而研制出一套系统,它能排除其他信号的**静电干扰**,只在发射器本身的特定波长下才产生调谐作用。由于此项发明,马可尼与德国物理学家K. F. 布劳恩共同获得了1909年的诺贝尔物理学奖。K. F. 布劳恩获奖是因为他发现某些晶体只能通过直流电,于是一般交流电被整流成无线电设备所需的直流电。尽管晶体的性能并不稳定,人们还是在20世纪最初的10年中研制出多种**晶体接收机**,用来接收信号。

另一方面,美国物理学家费森登废弃了以前那种透过空隙传递火花的装置,研制出一种特殊的高频交流发生器,并设计了一套能**调制**无线电波的系统,以载送声波模拟信号。由于受调制的是波幅

(波高),所以称之为**振幅调制**,这就是我们熟悉的**调幅无线电**。1906年的圣诞之夜,人类第一次从无线电收音机中听到音乐和人讲话的声音。

早期的无线电爱好者必须头戴耳机或紧挨在收音机旁才能听到声音。显然,需要用某种方式加强或**放大**信号,而这个问题终于被爱迪生的发现解决了,这也是爱迪生在“纯”科学领域中的惟一发现。

1883年,爱迪生在一次改进电灯泡的实验中,将一根金属线封入灯泡中,使之靠近热灯丝,当点亮灯泡时,意外地发现,电流竟然从灯丝穿过空隙流到了金属线上。因为这种现象对爱迪生改进灯泡并无益处,而他又是个重视实效的人,于是他只在笔记本上记下这个效应,日后也就忘了。但是电子被发现后,**爱迪生效应**就变得相当重要了。它可以用来解释空隙中的电流就是一束流动的电子。英国物理学家理查孙在1900—1903年间进行的实验证明,电子会从真空中加热的灯丝上“跳出”。这一成果使他在1928年荣获诺贝尔物理学奖。

1904年,英国电气工程师夫累铭充分利用了爱迪生效应,取得了辉煌的成果。他在灯泡灯丝(称为**丝极**)的周围围上筒形金属板(称为**板极**)。板极有两种作用:当它处于正电位时,就吸引从热灯丝上跳出的电子,形成有电流流通的通路;当板极处于负电位时,会排斥电子而阻断电流流动。假设板极与一交流电源相接,电流朝一个方向流动时,板极带正电,则电流在灯管内通畅无阻;若电流方向改变,板极便带负电,则灯管内没有电流。因此,板极的功能是只允许单方向的电流通过,换句话说,它可以将交流电转变为直流电。由于此管很像一个电流阀,英国人自然而然地直接称之为“valve”,而美国人则称之为“tube”,中文对两者都译为“真空管”。因它有两个电极——丝极和板极,所以科学家称之为**二极管**(图9-12)

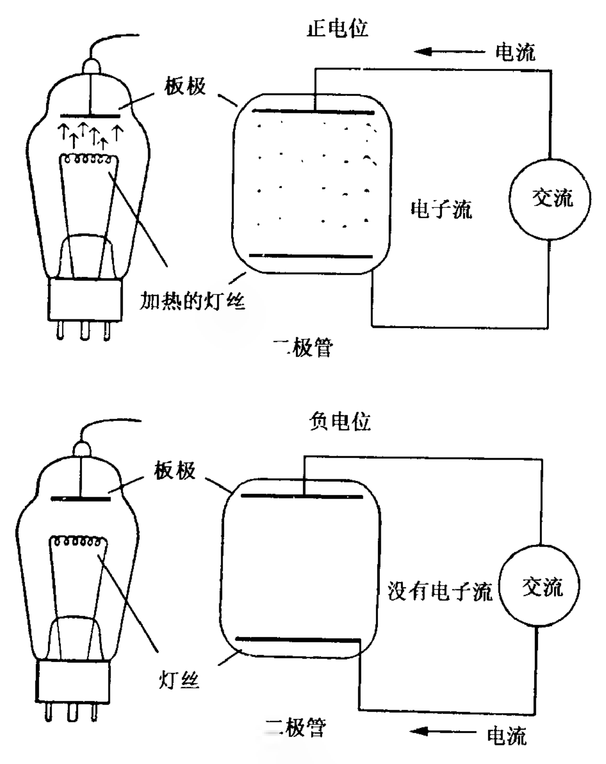
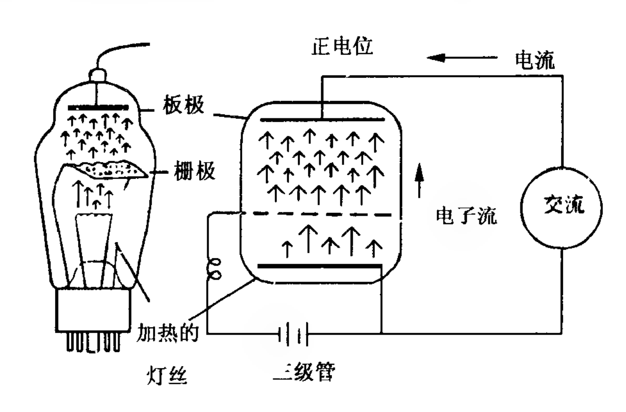


图9　12　真空二极管原理

真空管(亦称**无线电真空管**,因为最初是应用在无线电上)所控制的是真空管中的电子流,而不是通过电线的电流。由于电子比电流容易严密控制,所以真空管及其衍生出来的所有装置能起过去电路器件所不能起的作用,为**电子装置**开拓出一片全新的领域。一切有关真空管及其后代装置的研究和应用统称为**电子学**。

当时,人们用最简单形式的真空管取代晶体而作为新的整流器,因为它的可靠度比晶体高。1907年,美国发明家德福雷斯特进

一步改进,将第三个电极置于真空管中,从此,**三极管**便诞生了(图9-13)。第三个电极(**栅极**)是一块布满小孔的金属板,位于丝极与板极之间,它能吸引电子,加快电子从丝极向板极流动(穿过栅极上的小孔)。因此,只要给栅极增加少量正电荷,从丝极流向板极的电子便大量增加。这样,即使是加上极弱的无线电信号,也同样会使电流大量增加,而这一电流可以完全反映加在栅极上的无线电波的各种变化。换言之,三极管就是一个放大器。事实上,三极管在经



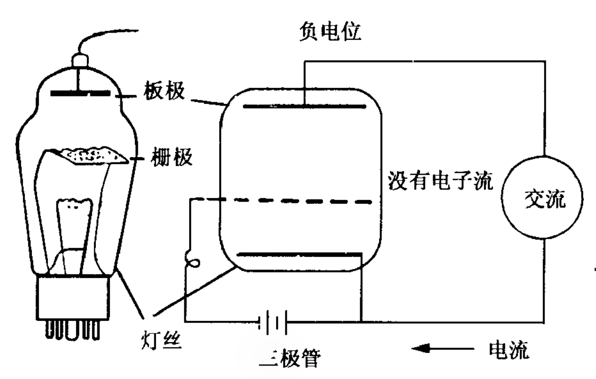


图 9-13　三极管原理

过更为复杂的改进后,不但可供收音机使用,而且成为所有电子仪器的主要器件。

下一个目标便是使无线电收音机完全普及。在第一次世界大战期间,美国电气工程师 E. H. 阿姆斯特朗研制出一种可降低无线电波频率的装置。这种装置当时是用来侦察飞机行踪的,战后用到无线电接收机上。E. H. 阿姆斯特朗的**超外差式接收机**只要拨动一个旋转盘就可以调谐到预设的频率,在过去,经过一连串复杂操作后只能在一个较广的可能的频率范围内调节接收。1921 年,匹兹堡的一家电台第一次正式播出广播节目,之后,其他的电台如雨后春笋般地纷纷建立。由于音量控制和选台只旋转旋钮即可,收音机受到广泛欢迎。正因为无线电的应用已相当发达,1927 年洲际电话开始投入使用,无线电话由幻想变成了现实。

待解决的问题是静电干扰问题。由马可尼及其后继者所研制的调谐系统最多只能降低诸如闪电和其他电源产生的噪声,并不能彻底消除噪声。后来,还是 E. H. 阿姆斯特朗想出了解决的办法。因为前述振幅调制往往也将噪声调制进来,使原来的信号受到干扰。于是,阿姆斯特朗在 1935 年用**频率调制**取代了振幅调制,也就是,他使无线电载波振幅保持不变,而将声音信号以载波频率的高低变化表现出来。声波波幅大,载波频率便低,反之亦然。事实上,频率调制消除了静电干扰现象。第二次世界大战以后,调频收音机逐渐受到大众欢迎,用来接收各种音乐节目。

电视

像无声电影必然会导致有声电影那样,电视机是收音机的必然后继产品。先有技术是使图像转换成电流信号,然后用电线将图像传送出去。利用一道细光束穿透一张胶片上的图像,将图像投射到胶片后面的光电管上。胶片相对较暗之处,由于透过的光较弱,光

电管中产生的电流也较弱;而较亮之处,因透过的光较强,则产生较强的电流。光束由左至右逐行快速**扫描**,把整个图面的深浅明暗一一转换成连续变化的电流信号。电流信号由电线传至接收站,经相反的程序处理之后,便还原成原来的图像。早在 1907 年,伦敦和巴黎之间就有了这种**有线电传真**。

然而,电视传送的是动态画面而不是静止的照片,所以传送速度必须极快,也就是说每个动作都应很快地被扫描。因此,摄像机利用一薄层金属取代胶片,薄层金属受到光照射便发射出电子,从而把黑白图像转换成电脉冲。

苏格兰发明家贝尔德在 1926 年曾演示过一种电视。然而,第一台实用电视摄像机的**光电摄像管**则迟至 1938 年才由俄国出生的美籍发明家兹沃尔金获得专利。光电摄像管位于摄像机的后部,管子内部涂抹大量铯银细粉。每粒细粉受到光束扫描便随光束亮度强弱而发射电子。后来,**超正析像管**取代了原来的光电摄像管。这是一种经过改进的新产品,涂覆铯银粉的屏幕很薄,能够使发射出的电子继续向前撞击一块薄玻璃板,发射出更多的电子。这种放大作用可以提高摄像机镜头对光的灵敏度,因此不需要强光。

电视接收机是阴极射线管的一种。从**电子枪**发射出的电子束撞击涂抹了荧光物质的屏幕,屏幕便随电子束强度成比例地发出辉光。一对电极产生的电场,控制电子束的方向,使之从左到右连续对数百条横线进行扫描,每一行稍低于前一行,在 1/30 秒内以这种方式将画面完全“绘画”在屏幕上。电子束以每秒 30 次的速率不断地绘画着画面。在任一瞬间,屏幕上仅有一个点被扫描到(明、暗视电子束强度而定),但是借助视觉暂留现象,我们不仅能看到完整的画面,而且能看到连续不断的运动和动作。

20 世纪 20 年代,电视还处于实验性播送阶段,到 1947 年,电视才有了商业实用价值。从那以后,电视便逐渐占领了几乎整个娱乐

领域。

20世纪50年代中期,电视技术又有了两项突破性发展。其一是将三种不同性质的荧光材料涂在屏幕上,使发出的光束有红、蓝、绿三种颜色,彩色电视机便正式诞生。其二是开发出**录像带**,使得我们能将复制的节目或重要新闻,以比电影更好的质量呈现在观众眼前。

晶体管

20世纪80年代,整个世界可以说是处于**卡式录音机**和**录像机**的全盛时期。必要时装上电池,小小的录音机便能自动倒带、卷带,放出高保真音乐节目。这样,人们在散步或做家务时,只要戴上耳机就可以享受别人得不到的乐趣。而**卡式录像机**则可以录制电影和电视节目,以后可以随时播放欣赏。

作为所有电子装置心脏的真空管终于成了一种限制因素。一般,随着时间的推移,一个电子装置的元件的功能总是不断改进的,也就是说,它们的功率会更大,适应性会更强,体积会更小(有时我们称这一过程为**小型化**)。然而,真空管逐渐变成了小型化道路上的障碍,因为它必须保持足够大的体积,以造成一定的真空,否则各元件间空隙太小就会漏电,使装置不能正常工作。

此外,真空管还有其他缺点。只要破裂或漏电就得报废。(早期的收音机和电视机内的真空管常要更换,电视机尤其如此。)不仅如此,还必须将真空管的丝极加热到一定程度才能工作,所以需要相当大的电流,而且还需要预热时间。后来,在偶然之中意外地找到了解决办法。在40年代,贝尔实验室的几位科学家对如今称为**半导体**的物质逐渐发生了浓厚兴趣。这些物质(如硅和锗)的导电性介于良导体和绝缘体之间。问题是要搞清这些物质为什么会有这种特性。贝尔实验室的研究人员发现,往上述物质中掺入痕量杂

质,便会增加它们的导电性。

我们以纯锗晶体为例。每个锗原子的最外层有 4 个电子,而在晶体内整齐排列的原子中,4 个电子的每一个都与邻近原子所含的 4 个电子中的某一个成对地结合在一起,因此,所有的电子都是很稳定地联结成对的。由于这种排列方式与钻石的排列方式相似,所以锗、硅和其他类似这种结构的物质统称为**金刚结构**。

如果在这种体系完整的金刚结构内掺入一点砷原子,情况会变得更为复杂。砷的最外层有 5 个电子,其中 4 个电子将与其原子核整个取代锗原子的位置,与邻近的锗原子依照前述排列方式紧挨在一起,电子亦成对结合,惟独第五个电子因没有配对而自由流动。这时,如果往此晶体上加一电压,这个自由电子将向正极移动。但它终究无法像金属导体中的自由电子那样快速地移动。不过,这种晶体的导电性还是要比硫磺、玻璃等绝缘体好。

这种情况还不令人吃惊。我们再来看看另一种更为奇特的情况。假如我们不是向锗晶体加砷而加硼的话,由于硼原子的最外层只有 3 个电子,它们分别与 3 个邻近锗原子所属的电子配对,但余下 1 个锗的电子怎么办呢? 它只好与**空穴**配对。空穴这个词用得恰如其分,因为就纯锗晶体而言,这个位置上的电子本来可以顺利地找到一个"伴侣"的,如今却遗留下一个空穴。如果向掺硼的晶体加一电压,邻近的电子受正电极的吸引向前递补,而在原来的位置留下一个空穴,于是下一个电子又来递补。表面上看来,虽是电子向正电极方向移动,但究其本质,我们也可以说是空穴向负极移动。简言之,空穴居然变成了电流的载体。

为使工作情况良好,晶体的纯度必须相当高,而且掺入的几种特定杂质(砷或硼)必须适量。于是,具有 1 个游离电子的锗-砷半导体就叫做 **n 型半导体**(n 是"负"的意思),而锗-硼半导体由于它有游离的空穴,如同带正电一样,所以是 **p 型**(p 是"正"的意思)。

半导体不同于一般导体之处,是它的电阻会随温度升高而下降,因为温度会减低原子对电子的束缚,使它们更为自由地游动。常温下,金属导体内的自由电子已经毫无束缚。升高温度,将使自由电子更加任意运动,阻止它们流动取决于电场。人们测定半导体的电阻,就能测出用其他方法无法测量的高温。这种可以测量温度的半导体叫做**热敏电阻**。

不仅如此,结合的半导体能发挥更大的作用。假设我们把1个锗晶体的一半做成n型,另一半做成p型。若n型侧接至负极,p型侧接至正极,则n型侧的电子会穿过晶体接触面到达正极,而p型侧的空穴也会同时游向负极,于是晶体中便有电流流通。这时,如果我们把正负极对调,也就是正极接n型,负极接p型,那么n型的电子便会直接游向正极,而p型侧的空穴也远离n型至负极。结果,晶体接触面附近既无电子,也无空穴,电流无法通过,电路便中断。

因此,我们有了一种新的整流器。若将交流电接至这种双重晶体,则电流只能向一个方向流动,交流就变成直流。这种晶体可用作二极管,起真空管的作用。

从某种角度来看,电子元件的发展经历了整整一个循环。当初,真空管取代了晶体,现在,它又被晶体取而代之,但这种新晶体远比K. F. 布劳恩50年前开发的晶体精密、稳定得多。

新的晶体具有真空管所不能比拟的许多优点,不需要抽真空,因此体积可以做得很小;不易破裂或漏电,在常温工作只需要很小电流。此外,更不需要预热时间。若能降低成本,而且制造得更精密,简直可以说是完美的产品。

由于新的晶体都是由固态物质组成,它开拓了一个新的领域——**固体电子学**。根据贝尔实验室研究人员皮尔斯的建议,这种新器件被命名为**晶体管**,因为它是使信号通过电阻传送出去的(图9 14)。

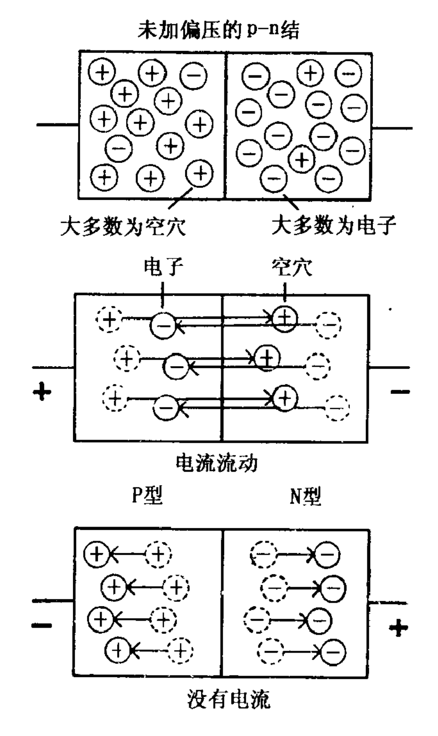


图9　14　晶体管中接触面工作原理

1948年，贝尔实验室的肖克利、布喇顿和巴丁研制出有放大作用的晶体管。他们在两片n型锗中间夹一层极薄的p型锗，其作用相当于三极真空管中介于丝极和板极之间的栅极。只需控制中间那一薄层p型锗的正电荷，空穴便能越过结点控制电子流。此外，只要p型上的电流发生小变化，就能使整片晶体上的电流发生大变化。因此，它同三极真空管一样起放大器作用。肖克利和他的同事布喇顿及巴丁因此而共同荣获了1956年的诺贝尔物理学奖。

在理论上晶体管虽能良好地工作,但要将它们投入实际应用,还需要某些伴生的先进技术——应用科学的发展一向如此。晶体管的工作效率完全取决于晶体材料的纯度,所以必须严格控制待掺入的杂质的性质和浓度。

幸运的是,帕恩在1952年开发出名为**区域溶炼法**的新技术。假设有一根锗晶体棒,将它置于环形加热元件的圆孔中加热时,靠近热源的那部分锗棒便会逐渐熔融,若将此棒在圆孔中上下抽动,则熔区便随之移动,于是杂质留在熔区,最后完全沉积在锗棒的底端。上述步骤经过数次,锗棒的主体的纯度就相当高了。

到了1953年,晶体管已经可以用来制造助听器,因而缩小了助听器的体积,能够放入耳内使用。在短短的时间内,晶体管不断稳步发展,已经能够在高频段工作,能经受高温,而且体积越来越小,最后甚至小到不再作为单独元件使用的程度。取而代之的是,在小小的硅晶片上极微细地蚀刻出许多**集成电路**,一个晶片能承担千万个真空管所承担的工作。到了20世纪70年代,这些硅片已经小到可以称之为**微晶片**了。

像这种风行全球的微小固体元件,可说是掀起了人类历史上最浩大的科技革命。它们不仅能使收音机做成更小,而且能把许多功能浓缩在硅片上,用于人造卫星和探空火箭。最重要的是,在20世纪80年代,它们使得空前小型、空前便宜、功能更多的电脑以及机器人的开发成为可能。关于电脑和机器人,将在第十七章中讨论。

微波激射器和激光器

微波激射器

近年来,科学技术的另一突飞猛进的发展,起始于对氨分子

(NH_3)的研究。氨分子中的3个氢原子分别位于一个等边三角形的三个顶点上，而1个氮原子则位于三角形中心偏上方。

因此，氨分子内部可能产生振荡，也就是说氨原子沿三角形平面以等距向两边来回振动，其自然频率为每秒240亿次。

最重要的是它的振荡周期相当稳定，比任何人造振荡器的振荡，甚至比星体的运行都要稳定得多。这种振荡的分子可以用来控制电流，而电流再控制计时器，其准确度达到前所未有的程度。1949年，美国物理学家莱昂斯率先把这一研究成果公布于众。到了20世纪50年代中期，这种**原子钟**在性能上已经超过了所有的普通计时器。如果利用氢原子，其计时精确度达到170万年仅误差1秒。

氨分子在振荡过程中，会放出频率为24×10^9赫的电磁波。这种电磁波的波长为1.25厘米，属于微波范围。我们可以从另一个角度来解释这种现象：假设氨分子占据两个不同能级中的一级，两能级差等于波长1.25厘米的光子的能量。若氨分子从高能级掉到低能级时，就会发射出上述波长的光子。反之，若位于低能级的分子吸收了这一波长的光子，便能上升至高能级。

但是，若用这种能量的光子去照射已处在高能级的氨分子，又会出现什么情况呢？早在1917年，爱因斯坦就指出，如果发生这种情况，这个位于高能级的分子会再度被拉回低能级，同时会循着入射光子的方向放出1个与其一模一样的光子。这么一来，便出现了2个同等大小的光子，其中只有1个是原来的入射光子。以上的学说在1924年得到了证实。

因此，用微波照射氨分子会产生两种可能的变化，一种是氨分子从低能级升至高能级，另一种是自高能级降到低能级。在一般情况下，前者发生的概率较大，因为在任何时候分子处在高能级的机会毕竟不多。

然而,若是我们能运用某些方法使全部或绝大多数分子都处于高能级,那么岂不是后者发生的机会就较多?的确,这会导致发生一些十分有趣的情况:当第一束微波光子撞击到分子后,将它推至低能级,随即放出第二个光子,这2个光子又分别加速撞击另外2个分子,再放出2个光子,此时共有4个光子,便能使氨释放出一大堆同样大小而且运动方向完全相同的光子。

1953年,美国物理学家汤斯研制出一种方法,将氨分子先固定在高能级,再利用波长适度的微波光子去激励它们。只要有少量的光子射入,便能放射出大量相同的光子,也就是相当于入射的微波被放大了许多倍。

这个过程被称为**微波激射放大**,这种仪器被称为**微波激射器**。

微波激射器发展得很快,因为可以使固体中的电子占据高能级或低能级。最初的微波激射器只是间歇式的,固态的和气态的同时存在。也就是说先将氨分子提升至高能级,然后去激励它们。经过一阵快速辐射后,必须重新将氨分子提升至高能级再去激励,才会再有大量光子放射出来。

后来,荷兰出生的美籍物理学家布洛姆伯根提出用三能级系统来克服这个缺点。如果微波激射器选用的芯材具有高、中、低三种能级的电子,那么能级的提升和能量的释放便能同时进行。先使电子自低能级升至高能级,再利用波长适度的光子去激励它们,使它们先掉至中能级,再至低能级。所以,只要有提升能级和激励微波的两种不同的光子,就不会使两个过程相互干扰。这样,连续性微波激射器终于问世。

微波激射器可以作为微波放大器,能够非常灵敏地探测太空中的电波,一旦收到来自外层空间的极微弱的微波束,就能高保真放大,恢复其原始射线特性。(安全再现原始特性,会出现很小的“噪声”。在这方面,微波激射器是绝无噪声的。)微波激射器还被

带到外层空间使用。苏联在 1965 年 11 月 30 日发射的宇宙 97 号人造卫星上的微波激射器，工作情况良好。

由于汤斯的贡献，他和其他两位在微波激射器理论方面单独进行研究的苏联科学家巴索夫及普罗霍罗夫共同获得 1964 年诺贝尔物理学奖。

激光器

从理论上讲，微波激射器技术可应用于任何波长的电磁波，特别是可见光。汤斯在 1958 年提出了将微波激射器应用于可见光波长的可行方法。产生可见光的微波激射器可称为**光激射器**。或者，这个特定过程可称做**光波激射放大**，这种仪器通常称做**激光器**（图 9－15）。

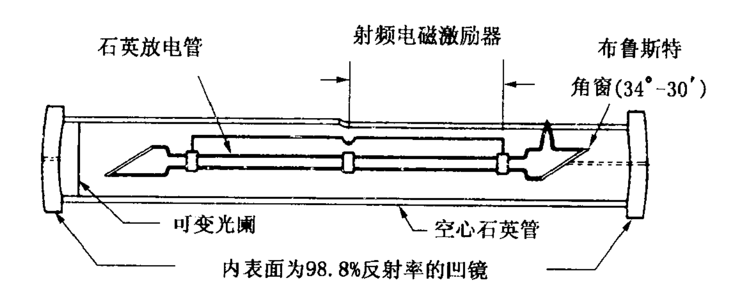


图 9－15　连续波激光器由一根石英放电管和两片布儒斯特角窗，以及位于两端的两块凹面镜构成。管内充满某种气体，其原子经过电磁激发至高能级后，再受光束激励，使其放射出特定波长的光子　工作原理就像笛子一般，两个凹面镜之间形成共振腔而产生一串连续的相干波，射出的细光束即为激光

1960 年，美国物理学家梅曼研制成功第一台激光器。他用可见光去照射一个由氧化铝和少量氧化铬合成的红宝石棒，结果铬原子的电子被激发至高能级，马上又掉回低能级。最初发射出的几个光子（波长 694.3 毫微米）激发出其他光子，而且红宝石棒突

然发出比太阳表面光要强3倍的深红色光。1960年末,在贝尔实验室工作的伊朗物理学家贾万研制出了一套以氦和氖混合气体作光源的连续激光系统。

激光器使全新形式的光的产生成为可能。与人们以前做出来的任何光源相比,激光是最强而且频宽最窄的单色光(单一波长)。不仅如此,它还有更多的优点。

一般光源,小至萤火虫、柴火,大至太阳光等,不论何种形式,都由一些较短的波束组成,可以把它们看作是指向不同方法的波束。一般的可见光就是由无数这种波束组成的。

然而,激光器所激发出的光,其光子的大小与运动方向都相同,因此每束波的频率都相等,再加上它们是一束束紧密地排成一行,如同焊接在一起一样,所以可以说这种光是由一长串振幅相同(等高)、频率相同(等宽)的波束组成的光,也就是所谓的**相干光**。其实,物理学家们早已知道如何制作低频相干光,但一直到1960年,才做出可见相干光来。

另外,激光的设计是加强光子在同一方向上运动的自然倾向。红宝石棒的两端经过精细加工,再适当地镀上银层,使之具有平面镜的效果。入射光子会沿着红宝石的长轴来回振动,经过激励后,每次都会释放出更多的光子,直到强度足以穿透那层镀银的表面为止,所射出的光相当精确地与长轴平行。此后,光子便如此地来回运动,一再地撞击两端的“镜子”。如果这时在一个不同的方向上(即使只与原来稍有一点差距)有一适当大小的光子入射进来,顺着这个新的方向便会产生一串受激光子,只要来回反射几次,它们便又会穿透红宝石两端投射出来。

激光束由相干波组成,彼此平行,即使整个光束发射至极远处也不会散开。在经过准确聚焦后,激光甚至可以加热一壶远在千里之外的咖啡。在1962年的实验中发现,从地球发射的激光在经

过40万公里的空间旅行之后，在月球表面上只投射出约3公里直径的一个光圈。

激光一问世。科学界马上爆发出对之进行进一步研究的热潮。短短的几年间，从近紫外线到远红外线，数以千计不同波长的激光纷纷被开发出来。几乎各种固态物质、金属氧化物、氟化物、钨酸盐、半导体、液态物质、气态物质都可用来获得激光，只是各有其优劣而已。

1964年，美国物理学家卡斯帕首次发展了一种**化学激光**，由一个化学反应(最初是利用光脉冲来离解(CF_3I)做为能量来源。化学激光优于其他普通激光之处在于，释放能量的化学反应可以与激光本身相互配合，不需外加能源。这就好比一般可用电池供电的家用电器一样，远比在墙上找插座接电源才能工作的电器方便。从实际工作效率来看，化学激光的效率比其他类型的激光高，前者是12%强，后者是2%弱。

1966年，兰卡德和索罗金共同研制了**有机激光**，也就是用一种复杂的有机染料作为相干光的光源。由于有机物分子的复杂性，使得电子间的种种反应有可能发出各种不同波长的光。由此可见，有机激光不像其他激光那样，局限在某一种波长，只要经过适当的**调谐**，便发出某一个波段内任何波长的光。

激光光束通常都非常细，因此它将所有的能量都集中在极小的一点，这一点的温度非常高。利用此特点，激光可用来气化金属和快速光谱分析。它还可以用来焊接、切割，或在高熔点物体上穿孔，做出需要的形状。同时，外科医生还发现，适当地用激光照射眼睛可以迅速将已经松弛的视网膜重新"焊紧"，而不致烧坏附近的其他组织。同样，还可以用激光切除肿瘤。

为了说明激光用途之广，还有一个通俗但给人印像很深的例子，那就是当激光快速扫过一个打算删改的错字时，会将那个字的

墨水蒸发掉，而避免用橡皮更改时擦破纸张，这就是肖洛研制出的神奇的**激光擦**。另一个极端产品是**激光干涉计**，它能以空前的精度进行测量。地壳应变增强时，可以用多台激光器测出，激光的干涉条纹的漂移就能测出地壳的微小移动，其精密度可达 10^{-12}。此外，首次登上月球的人在月球上留下了一套反射镜系统，以便反射自地球发射出去的激光，准确测出地球和月球的距离。

激光最令人振奋的用途，是利用激光载送通信信号。高频相干光能把数以千计的频道集中在目前一个频道所占的空间里，这是目前的广播电视采用相干无线电波所无法达到的。这为我们展示了这样一幅前景：将来地球上每个人都可以拥有个人通信波长。自然，这必须对激光加以调制，也就是必须把由声音产生的电流变化转变成各种激光的变化(例如，改变振幅、频率或转换成开关信号)，然后再变回电流信号。以上设想已在开发中。

可能是光比无线电波更容易受云、雨、雾、露、灰尘等大自然因素的干扰，所以需用包含若干面透镜(逐渐加强光强度)和平面镜(在放电管转角处反射用)的放电管来传导激光。但从**二氧化碳激光器**推出后，其功率空前，激发出来的等幅激光束即使在红外线区内也能传播得很远，而很少受大气层的影响。不久将来，大气通信想必会成为现实。

最直接的实用例子，是用**光纤**传导经过调制的激光束。光纤是一种比毛发还细的超透明玻璃管，可以用它取代电话通信用的绝缘铜线。因为玻璃远比铜便宜、普遍，而且激光又能载带更多的信息。因此，在许多地方都可以用一束束轻便的光纤取代一捆捆粗重的铜电缆。

最后，再举激光束的一个最新奇的应用实例：一种崭新的立体摄影术。一般的照像是一束光自物体反射后，在底片上成像，记录的只是光的横截面，而没有记录下光所包含的其他潜在信息。

如果将激光一分为二，一束投射到物体上，被该物体不规则地反射回来，而另一束从平面镜上规则地反射回来。使这两部分光同时投射到底片上，把它们不同波长的干涉情况同时记录下来。从理论上讲，干涉条纹包括了每道光的相关信息。显像后，干涉条纹却看不出来。如果光投射到底片上，并透过底片仍保持干涉特性，则产生一个包含全部信息的像。这是从物体表面反射回来的每道光组成的三维影像，可以从表示投影变化的不同角度拍摄影像。

1947 年，匈牙利出生的英籍物理学家伽柏试图探索电子显微镜清晰成像的方法而提出上述设想，他称之为**全息摄影术**，是拉丁文“全部记下”的意思。

伽柏的想法在理论上完全正确，但在当时却无法实现，因为用普通光不能进行全息摄影。各种波长的光朝着不同的方向运动，两条光束所产生的干涉条纹相当杂乱，所以根本产生不出任何信息，结果就像 100 万张模糊的影像参差地重叠在一起一样。

然而，激光的问世改变了一切。1965 年，利思和厄帕尼斯在密执安大学研究出第一套全息摄影系统。从那以后，全息摄影术飞速发展，甚至有了彩色全息摄影，照出来的干涉条纹用一般的可见光便能看清楚。此外，微观全息摄影似乎可在生物学研究方面增加第四维空间，但尚不能预测结果如何。

（刘崇志　译）

第十章 反 应 堆

能 量

20 世纪科技迅速进步,地球能源的消耗惊人增加。一旦拥有成亿人口的不发达国家加入工业化国家的行列,燃料的消耗就会更大幅度地跃增。我们到何处去找到所需的能源呢?

我们已经知道,地球上大部分的树木已经消失,是因为我们最初使用的燃料就是木材;公元初,希腊、北非与近东的许多地方森林遭到了无情的砍伐,这一方面是为了搜集燃料,另一方面是为了放牧动物和从事农业。无控制地砍伐森林灾害重重,不仅切断了木材的供应,而且在彻底除去土地的覆盖物后对生产力或多或少地造成了永久性的破坏。这些古代文明区域在过去造就了进步的文化,而现在大部分却变得贫瘠而无生产力,且所住的居民贫穷落后。西欧的森林在中世纪已逐渐砍伐殆尽,而且目前北美的森林也遭到更为迅速的砍伐。除了加拿大和西伯利亚外,温带地区几乎没有留下任何大片的处女林地。

煤与油:化石燃料

煤与石油取代了木材在燃料中的地位。希腊植物学家泰奥弗拉斯托斯早在公元前 200 年就已经提及煤,但是欧洲最早关于采煤的记录在 12 世纪以前尚无记载。直到 17 世纪,英国因为将森林砍

伐殆尽使其海军严重缺乏木材，所以才开始改用大量的煤作燃料。这也许受到荷兰人在他们之前挖掘煤矿的鼓励。就采煤来说荷兰人并非最早，因为马可·波罗在其著名的《中国游记》一书中提到，12世纪晚期，中国已经用煤燃烧，那是世界科技上的一大进步。

1660年以前，英国年产煤200万吨，占当时世界上煤年总生产量的80%以上。

煤最初主要用作家庭燃料，但英国人普拉特在1603年发现，如果煤在无氧的情况下加热，它所含的焦油状的漆黑物质会被驱出，所留下的物质几乎全是纯碳，这种残渣称为**焦炭**。

起初，焦炭质量并不高，经慢慢改善后，终于可用来代替木炭以熔化铁矿。焦碳在高温下燃烧时，其碳原子与铁矿中的氧原子结合，金属铁留下来。1709年，英国人达比开始大量采用焦炭来炼铁。蒸汽机发明后，用煤加热使水沸腾，工业革命于是展开。

其他地方的这种转变较慢。在年轻而森林资源丰富的美国，1800年94%的燃料是木材；然而到了1885年，50%的燃料是木材；至20世纪80年代，则木材在燃料中的比例不足3%，而且重心已由煤转到石油和天然气了。1900年，美国由煤所提供的能量10倍于由石油与天然气所共同提供的能量；半个世纪后，由煤所提供的能量仅为由石油和天然气所共同提供的能量的1/3。

古代照明所用的灯油来源于植物和动物。然而，在漫长的地质时代中，含油丰富的浅海小动物在自然死亡时与泥混合，埋在冲积层下，经过缓慢的化学变化，其油质转变成一种复杂的碳氢化合物，现在被恰当地称为**石油**（来自拉丁文）。“油”这个字对人类如此重要，以致在最近几代已不表示其他意义。我们相信当“油”出现在大标题中时，它绝不表示橄榄油或椰子油。

石油有时会在地表发现，特别是在富藏石油的中东，情况更是如此。挪亚得到指示，在他的方舟里外涂上沥青以防水。同样的，

摩西婴儿时期也靠沥青,使他的“芦苇方舟”免于沉没。石油中较轻的部分(**挥发油**)有时收集起来用来点灯或用于宗教仪式中的火焰。

19世纪50年代,点灯所需的易燃液体可用鲸油和煤油(由煤在无空气条件下经加热而得);其另一个来源是油页岩,它是一种柔软得像蜡的物质。当油页岩受热时,它放出一种**煤油**。这种油页岩于1859年在宾夕法尼亚州西部由一位火车列车员德雷克在试验某种新事物时发现。

E.L.德雷克知道,人们掘井而取水,有时掘得更深以获得**盐水**(非常咸的水,可用来制盐)。有时有一种易燃的油状物质会与盐水一同冒出来。根据记载,中国和缅甸在2000年前燃烧这种油来加热盐水,以获得盐。

那何不采油呢?由于当时油不仅用作点灯的燃料,而且用作医药,因此德雷克觉得自己挖掘到的东西会有良好市场。结果,在1859年8月28日,当他在宾夕法尼亚州西部的太特斯维尔钻洞钻到约21米(69英尺)深的时候,探到了油源,他钻出了第一口**油井**!

最初半个世纪中,石油的用途有限,但随着内燃机的出现,石油的需要甚为迫切。比煤油轻的液体部分(即较易挥发为气体的部分)正是在这种新内燃机中所需的燃烧物,这个部分即**汽油**。从此便大举搜寻石油,迄今未止。

宾夕法尼亚油田很快就耗尽了,新的油田于20世纪早期在得克萨斯州发现,而更大的油田则在20世纪中叶于中东发现。

石油具有许多胜过煤的优点:人类不需到地下去挖掘,既不必用无数的卡车载运,又不必将其贮藏在地窖中再铲进火炉里,更不会留下有待清除的灰烬。石油自地下抽出,经油管(或油轮)输送,储存在地下的油槽中,自动注入火炉里,火焰可随意点燃或熄灭,不留灰烬。特别在第二次世界大战后,整个世界大量地由用煤

改用石油。尽管煤在制造钢铁和其他用途上仍保持了重要的地位，但石油却成了世界上最大的燃料来源。

石油包含一些易挥发的部分，它们在常温之下是气体，现在称之为**天然气**，一般以**煤气**代称，就像石油以油代称一样。天然气在使用上比石油更方便，它的使用增长率甚至比石油的液体部分更高。

然而上述的都是有限的资源。天然气、石油和煤都是**化石燃料**，来自古代动植物的遗骸，一旦用尽便无法替换。人类实在是以超越的速度在消耗化石燃料。

其中石油消耗特别快，全世界目前每小时烧掉400万桶以上的石油，不论如何努力节约，最近的将来消耗率仍将继续上升，虽然地球上还有将近1万亿桶的石油存量，但是按目前的用量来说，不到30年就用完了。

当然，额外的石油可由更普遍的煤和氢在压力下合成。此方法最初是由德国化学家伯吉尤斯在20世纪20年代研究出来的，结果他获得1931年诺贝尔化学奖。煤的储量实在很多，也许有7万亿吨，不过并非全都易于挖掘出来。到25世纪或更早，煤将成为昂贵的商品。

我们可以期待新的发现，也许在澳大利亚、撒哈拉沙漠，甚至南极洲，有煤和石油在等着我们，而且科技上的进步也可以开发较薄、较深的煤层，进入更深的地下或自油页岩及海底油田中抽取石油。

无疑地，我们也将发现更有效率的燃料用法。燃烧燃料产生热使水变为蒸汽，驱动发电机发电，而在这整个过程中却已浪费了大量的能量。如果能让热直接转变为电，大部分的损失可以避免。这种可能性早在1923年由一位德国物理学家塞贝克提出。他发现如果将两种不同金属在封闭电路中连结，并在此接合处加热，则

附近的指南针偏转,这说明了热在电路中造成电流(**温差电**)。然而,塞贝克对自己的实验作了错误的解释,他的发现当时并未贯彻下去。

随着半导体技术的发展,古老的塞贝克效应得到新生。现在的热电装置中采用半导体,在其一端加热,使其中产生一个电位,在P型半导体中,冷端成为负极,而在n型半导体中,冷端则为正极。如果这两种半导体以一U型结构连接起来,使n-p接点位于U型的底部,则加热底部会引起P分支的上端得到负电荷,n分支的上端得到正电荷,结果电流从一端流到另一端,只要温度差维持着,电流会不断产生(图10-1)。(反过来也可利用电流使温度下降,所以温差装置可以用作电冰箱。)

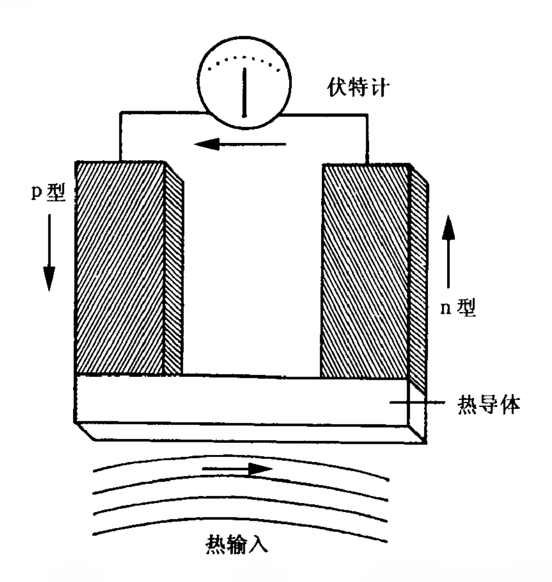


图10-1 温差电池。加热导体使电子流向n型半导体的冷端,再由p型半导体的冷区流向暖区。如果形成一个电路,则电流按箭头所指方向流动。因此热能可转变为电能

温差电池不需要昂贵的发电机和笨重的蒸汽机，又便于携带，而且可在隔离区域内当作小规模电源，只需要煤油加热器作为热源。根据报道，这样的装置在苏联农村经常使用。

纵然尽一切可能提高燃料使用效率，努力勘探新的煤矿和油源，但这些能源依然有限，在不久的将来，煤或石油不能再作为重要的大规模能源。

化石燃料的利用在完全耗尽之前，必须尽可能加以缩减，因为使用量的增加具有危险性。煤不是纯碳，石油也不是纯碳氢化合物，其中都含有少量的氮和硫的化合物，燃烧化石燃料（特别是煤）时，氮和硫的氧化物会释放到空气中。1 吨煤中这种物质的释放量固然不多，但对全部燃烧的煤来说，在 20 世纪 70 年代，每年都放出重约 9 000 万吨的氧化硫至大气中。

这种不纯物是空气污染的主要来源，在适当的气象条件下，也是**烟雾**的来源，烟雾覆盖城市，损害人的肺部，甚至能使已患有肺病的人致死。

这种污染物可被雨水自空气中清洗下来，结果造成更严重的新问题。氮和硫的氧化物溶在水中，使水呈弱酸性，这种水落到地面上就是**酸雨**。

酸雨的酸性不足以直接困扰我们，但它落入池塘和湖中，使其中的水酸化，酸度虽然轻微，却足以杀死大量的鱼和其他水中的生物。特别需要指出的是，如果湖底没有可以中和部分酸的石灰岩床，则这种情况更严重。酸雨也对树木造成伤害，这种伤害在烧煤最多的地方最严重，而且由于西风的缘故，酸雨常会落到东方，因此加拿大东部因受美国中西部烧煤的影响，饱受酸雨之害，瑞典也因西欧烧煤而受害。

如果继续燃烧化石燃料而且其燃烧数量增加，这种污染物的

危害的确更大,因此已针对这个问题召开国际会议了。

为了解决这个问题,石油和煤必须在燃烧前经净化处理,这是一种可行的办法,但显然会增加燃料费用。然而,即使所烧的煤为纯碳,所烧的石油是纯碳氢化合物,问题仍未解决,因为经燃烧的碳变为二氧化碳,碳氢化合物变为二氧化碳和水,它们本身无害(某些有毒的一氧化碳也必定同时产生),但仍不可忽视。

二氧化碳和水都是大气的天然成分,水蒸气的含量随时随地变化,但二氧化碳含量则保持约 0.03%。大气中由化石燃料燃烧造成的额外水蒸气最后进入海洋,所以无关紧要,额外的二氧化碳中部分会溶解在海中,部分与岩石反应,但有些会留在大气中。

自 1900 年以来,由于燃烧石油和煤,大气中二氧化碳的含量比原来增加了一半,而且一年比一年显著地增加。额外的二氧化碳并未引起呼吸上的问题,甚至可视为对植物的生长有益,然而二氧化碳确实增加了某些温室效应,并使地球的平均温度略微提高。增高的温度虽然微不足道,却使海洋的蒸气压有升高的趋势,而且空气中也会保持更多的水蒸气,就整体而论,这也提高了温室效应。

燃烧化石燃料可能引起温度足够的上升,使冰冠开始溶化,对大陆海岸线产生危害,并且可能会引起气候上长期的不良变化,甚至可能引起温室效应加剧,使地球陷于与金星相同的境地,不过我们需要对大气动力学和温度效应有更多的了解,才能做出更精确的预测。

无论如何,要想继续燃烧化石燃料就必须特别小心。

既然我们继续需要能源,而且所需能源与日俱增,那么我们该如何应付呢?

太阳能

解决能源的一种可能方法是加强利用更新的能源:以地球能

量的“收入”过活，而不是直接消耗其“资本”。

如果森林能像农作物一样成长收获，木材也可以成为所需的资源，然而光是木材远不能满足我们所需的全部能源。我们也可以多利用风力和水力，同样的它们也不能突破辅助能源的地位。另外，某些潜在的能源，例如开发地热(如温泉)或利用潮汐，情况也是如此。

最重要的是开发利用部分来自太阳的巨大能源，这种日照的能量约为目前每日消耗能量的5万倍。就这方面来说，一种有希望的特殊装置是**太阳能电池或光电池**，其原理是运用固态装置将阳光直接转变为电流(图10-2)。

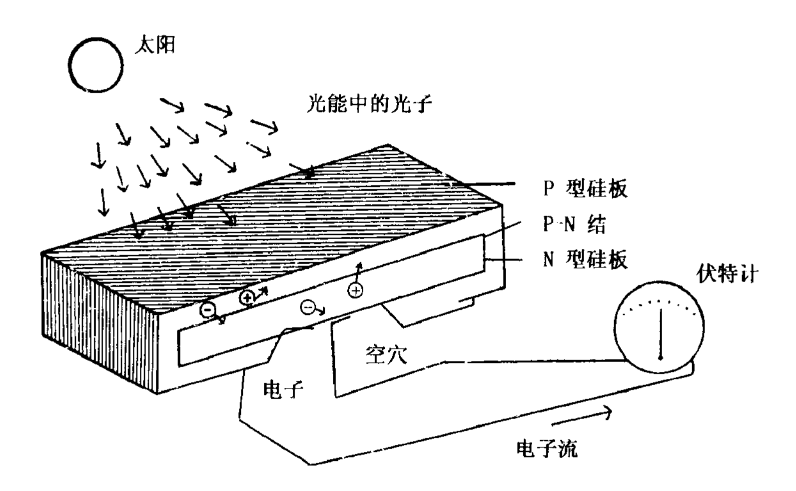


图10-2　光电池。阳光照射薄板的自由电子，从而形成电子-空穴对。p-n接面的功用有如一道栅门或电场，可把子电子与空穴分开，而在接面处形成一个电位差，电流通过电线线路

如同贝尔电话实验室于1954年研制成的那样，光电池是由n型和p型半导体组成电路的一种电池，其外形就像一块扁平的夹心面包片。日光投射到这块板上，将一些电子撞出来，这就是一般

的光电效应。自由电子向正极移动,空穴向负极移动,这就产生电流。同普通化学电池的电流相比,这种电流并不大,但是太阳能电池的优点是没有液体,没有腐蚀性的化学物质,而且能无限制地依赖太阳来发电。

1958 年 3 月 17 日,美国发射的**先锋 1 号**人造卫星首先配备光电池以供无线电通信用,这些信号由于没有设置“关”的开关而持续了多年。

地球上 4047 平方米(1 英亩)日照地区每年接受 9400000 千瓦·小时的太阳热量,如果地球上沙漠地区的广大地面上,例如撒哈拉沙漠的死谷,覆盖着太阳能电池和蓄电装置的话,可以无限地提供世界所需的能量。

当然也要考虑费用,制造电池所需的纯硅晶体很贵,虽然从 1958 年以来,硅晶体的价格已削减到 0.4%,但太阳能电池的价格仍约为石油发电的 10 倍。

当然,光电池还可以再降低价格并提高效率,但收集阳光并不容易。阳光丰富而稀薄,正如前两段所提过的,如果要利用,必须找到广大的区域才行,而且还要扣掉夜晚的时间,即使在白天,也可能有浓雾、烟雾或云。就算在晴朗无云的沙漠上,空气仍会吸收大部分的太阳辐射,特别是太阳接近地平线的时候,在地球上要维持大的曝晒区域实在是既昂贵又困难。

有些科学家因此建议,将太阳能收集场置于没有大气干扰而阳光几乎连续不断的地球轨道上,使单位面积的产量增至 60 倍,但这个想法暂时还不可能成功。

原子能的战争用途

在大量使用化石燃料的今日和大量使用太阳能的未来之间,

有另一种可大量取得的能源,它在不到半个世纪之前意外地出现,并具有衔接能源空档的潜力,这就是**核能**,即一种存在于原子核内的能量。

核能有时称为原子能,但那是错误的名词,严格地说,原子能是化学反应产生的能量,如煤和石油的燃烧,因为它们包括了整个原子的作用,而由原子核中所释出的能量则是全然不同的,其数量也要巨大得多。

核裂变的发现

在查德威克于 1932 年发现中子后,物理学家便掌握了一把开启原子核的钥匙。中子因为没有电荷,能够轻易地穿透带电的原子核,于是物理学家们开始用它轰击各种原子核,看能发生什么样的核反应。在这些研究者中,有一位是意大利的费密,他在数月中制备了 37 种元素的放射性同位素。

费密和他的伙伴发现,如果他们先让中子通过水或石蜡以减慢速度,便可以得到较佳的结果。中子使水或石蜡中的质子反跳出来,而中子本身就像一颗撞球撞到其他撞球一样减慢下来。当一个中子减速到**热速度**(即原子正常运动的速度)时,有更多机会被原子核吸收,因为它留在原子核附近较久;另外,由于波长与粒子的动量成反比,当中子慢下来时,它的波长增加,会占据更多空间,所以它也就更容易撞上 1 个原子核,就像 1 个保龄球比 1 个高尔夫球有更多机会撞上 1 个保龄球瓶一样。

一种特定的原子核俘获 1 个中子的概率称为**截面**。这个名词将原子核描绘成一个特殊尺寸的靶子,在相同的距离下,一颗棒球击中一座仓库的边缘比击中一块 30 厘米(1 英尺)宽的木板要容易。截面的大小是以**靶恩**为单位来表示的,1 靶恩等于 10^{-24}平方厘米。这个单位是由美国物理学家霍洛韦和C.P. 贝克于 1942 年

命名的。

当1个原子核吸收1个中子时,它的原子序数不变(因为核电荷保持不变),但原子量上升1个单位,如氢-1变为氢-2,氧-17变为氧-18,等等,而中子进入时带给原子核的能量可将原子核**激发**——增加它的能量,过剩的能量随即以γ射线发射出去。

新原子核通常不稳定,举例来说,当铝-27吸收1个中子而变成铝-28时,1个中子迅速变成1个质子(发射出1个电子),原子核正电荷的增加将铝(原子序数13)转变为硅(原子序数14)。

因为中子轰击可使1个原子转变为下一个高原子序数的原子,费密决定用中子轰击铀,看它是否能形成一种原子序数为93的人造元素。在轰击中子所得的产物中,他及其同事们的确发现有新放射性物质的迹象,因此他们认为已取得第93号元素,称之为**铀X**,但如何鉴定这种新元素呢?它应具有什么化学性质呢?

第93号元素在周期表中应该位于铼之下,所以它的化学性质应该与铼相似(见第六章)。果真如此,制备的第93号微量元素的鉴定方法是:把铼与经中子轰击后的产物混合,然后以化学方法将铼分离出来。铼起到**载体**的作用,把化学性质相似的第93号元素带出来。如果能证明铼上附着放射性,我们就知道第93号元素的确存在。

钋的发现者哈恩和迈特纳在柏林一起工作,遵循着此实验方向锲而不舍。第93号元素没有随铼而出现,哈恩与迈特纳于是继续试着去探讨中子轰击是否能把铀转变成周期表上邻近的其他元素。此时,德国于1938年占领奥地利,迈特纳身为奥地利国民,又是犹太人,被迫逃到斯德哥尔摩,而哈恩只好与德国物理学家斯特拉斯曼一起继续他的工作。

几个月之后,哈恩和斯特拉斯曼发现,当把钡加入轰击过的铀时,它会带走一些放射性,他们认为此一放射性应该属于镭,即在周

期表中位于钡之下的元素，结论是铀被中子轰击后有些变成了镭。

但镭是奇特的东西，哈恩与斯特拉斯曼尽其所能仍无法将它自钡中分离出来。当时在法国由 I. 约里奥-居里和他的同事萨维奇进行的一项类似的工作也同样地失败了。

接着，迈特纳在斯堪的纳维亚大胆地选了一条捷径，并发表了一种哈恩私下说出但犹豫是否要公开的现象。她于 1939 年 1 月在英国《自然》杂志上公开发表的一封信中，指出镭不能从钡中分离出来，因为根本没有镭。假想的镭实际上是放射性钡：经铀中子轰击后而形成的钡，这种放射性钡发射出 β 粒子而衰变成镧（哈恩与斯特拉斯曼发现，原来加入产物中的镧显示出某种放射性，他们认为那是锕，事实上是放射性镧）。

钡如何从铀中形成呢？钡原子只具有中等重量，已知的放射性衰变过程都不能将一种重元素转变为大约其一半重量的元素。于是迈特纳大胆地推测铀原子核可分裂成两部分。吸收中子会使铀核发生它所谓的**裂变**，而生成的两种元素分别是钡与周期表中位于铼之上的第 43 号元素（稍后被命名为锝）。钡原子核和第 43 号元素的原子核形成铀原子核。这个想法很大胆，因为中子轰击只提供 6 兆电子伏，而当时原子核结构的主要观念认为似乎需要数亿电子伏才能做到。

迈特纳的侄子弗里施赶到丹麦，在这个新理论公开发表前将其呈给玻耳。当时玻耳正在研究发展原子核结构的液滴理论，而且用迈特纳的论点似乎可以解释它。其后几年，液滴理论将原子核外壳纳入考虑，甚至可用以解释核裂变量精致的细节，以及为何原子核会裂变成不等的两半。

无论如何，玻耳立刻了解了其中的含意。不久他去华盛顿参加一个理论物理研讨会，他告诉物理学家们自己在丹麦听到的裂变说法。物理学家们兴奋地回到自己的实验室去验证这个假说，

一个月之内便发表了半打实验证据,结果1944年诺贝尔化学奖由其中的哈恩获得。

链式反应

裂变反应释出的能量远大于通常放射性的能量,但使得裂变现象如此惊人的不只是额外的能量,更重要的是它释放出2或3个中子。在迈特纳的信公开发表后不到两个月,一些物理学家便遇上了令人畏惧的**核链式反应**的可能性。

链式反应是化学中的常见现象,一张纸的燃烧便是一个链式反应;一根火柴提供了起始的能量,一旦燃烧开始,就有了维持和传播火焰的媒介热,然后燃烧以持续而扩张的方式带来了更多的燃烧。

核链式反应也是如此,1个中子裂变1个铀原子核,释放出2个中子,然后这2个中子又引起裂变反应,释放出4个中子,这4个中子又造成4个裂变反应,依此类推(见图10-3)。第一个原子裂变产生能量200兆电子伏,下一步产生400兆电子伏,再下一步产生800兆电子伏,再下一步产生1600兆电子伏,依此类推。由于这种连续的过程在大约五十兆分之一秒内发生,因此在很短的时间内,就会释放出惊人的能量。(每次裂变实际产生的平均中子数是2.47,所以事情进行得甚至比这个简化的计算所显示的还快。)28.35克(1盎司)的铀裂变产生相当于燃烧90吨煤或2000加仑油的能量,理论上,使用铀裂变可以解决我们目前所面临的能源问题。

但裂变反应不幸刚好在第二次世界大战之前发现。物理学家估计,28.35克的铀裂变会产生相当于600吨梯恩梯(TNT)黄色炸药的爆炸威力,以这种武器从事战争,其结果相当可怕,万一被纳粹德国先攫取到这种炸药去危害世界,后果更不堪设想。

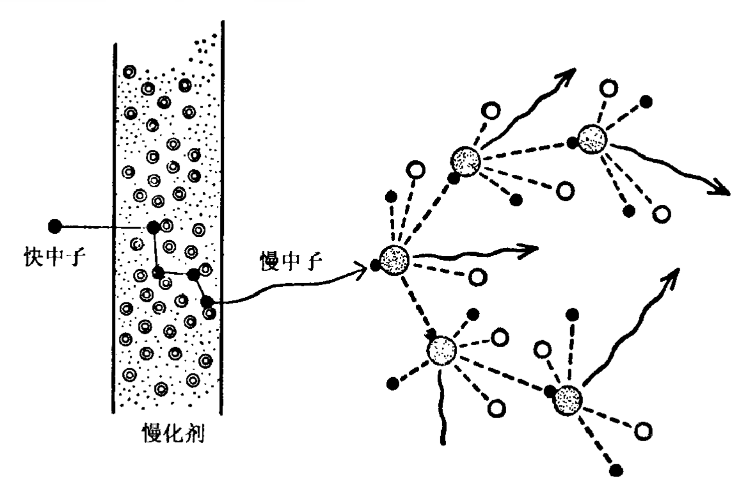


图 10-3 铀的核链式反应。大圆圈是铀原子核，黑点是中子，波状箭号是γ射线，小圆圈则是分裂的碎片

匈牙利血统的美国物理学家齐拉特研究核链式反应多年，十分清楚其发展潜力。他与其他两位匈牙利血统的美国物理学家维格纳和特勒，劝导爱因斯坦在1939年夏天写信给罗斯福总统，说明铀裂变的潜力，并建议尽一切努力在纳粹之前发展这种武器。

这封信写于1939年8月2日，同年10月11日才呈给总统。这段期间，第二次世界大战在欧洲爆发，而哥伦比亚大学的物理学家在费密（他在一年前离开意大利到达美国）的监督下，努力要使大量铀产生持续的裂变。

最后美国政府根据爱因斯坦的信而采取行动。1941年12月6日，罗斯福总统授权进行一项庞大的计划，以刻意掩饰的曼哈顿工程师管理区为名，目的在于发展原子弹。第二天日本就攻击珍珠港，美国因而参战。

第一座原子核反应堆

正如所预料的,由理论变为实践决不会那么容易。安排铀的链式反应需要相当的工夫。首先,必须拥有数量丰富的铀料,并将其精制成纯度足够高的铀,以免中子被杂质吸收。铀是地壳中相当平常的一种元素,平均每吨岩石中含有2克左右,比黄金常见得多,但铀相当分散,世界上极少地方出产丰富的铀矿石;此外,1939年以前铀几乎无法利用,因为纯化铀的方法尚未研究出来,当时美国制出的铀还不足28.35克。

衣阿华州立大学实验室在斯佩丁的领导下以离子交换树脂进行铀的纯化研究(见第六章),而在1942年开始生产纯度合乎要求的金属铀。

然而那只是第一步,接下来的就是:必须再从铀中分离出更易裂变的部分。同位素铀-238有偶数个质子(92)和偶数个中子(146)。有偶数个中子的原子核比有奇数个中子的原子核稳定。天然铀的另一种同位素,即铀-235,具有奇数个中子(143),因此玻耳预测它会比铀-238裂变得更迅速。1940年,一个研究小组在美国物理学家邓宁的领导下,将少量的铀-235分离出来,并且证明玻耳的上述推测正确。铀-238只在被大于一定能量的快中子轰击时才裂变,而铀-235吸收任何能量的中子都会裂变。在这两种情况下,中子最后都成为热中子。

麻烦的是,就纯化的天然铀来说,140个原子中只有1个是铀-235,其余都是铀-238,因此铀-235裂变释放出的大部分中子被铀-238俘获而不会造成裂变,即使铀被足以分裂铀-238的快中子轰击,裂变的铀-238释放出的中子能量也不足以使剩余的原子继续链式反应。换句话说,铀-238的存在会引起链式反应的迟滞与中止,这就像试图使湿叶燃烧一样。

那么,只有尝试大规模地进行由铀-238中分离铀-235的工

作,至少要除掉足量的铀-238,使混合物中的铀-235含量够丰富才行。物理学家想出几种方法,每个方法成功的可能性都不大。结果最佳的方法是**气体扩散法**,然而至1960年为止此法费用仍非常昂贵。接着,一位联邦德国科学家研究出一种廉价得多的铀-235分离技术——**离心法**,较重的分子被抛到外面,含铀-235的较轻分子被留下来。此法使得原子弹大为便宜,可以用较少的动力进行制造。

铀-235原子比铀-238原子轻1.3%,因此,若原子为气态,铀-235原子会比铀-238原子移动稍快,而以较快的扩散速度穿过一连串的过滤板,因此可被分离出来。不过,铀必须先转变为气体,其惟一的方法是使它与氟化合而生成**六氟化铀**。这种挥发性液体是由1个铀原子与6个氟原子组成,其中1个含有铀-235的分子会比1个含有铀-238的分子轻1/100弱,这个差额足以满足采用气体扩散法的需要。

当六氟化铀蒸气被迫通过多孔板时,含有铀-235的分子通过得比较快,因此每穿过一个板,铀-235的比例就增加一点;为了得到相当数量接近纯铀-235的六氟化铀,需要数千个板,但如果只要得到浓缩的铀-235,则所需的板可以减少许多。

到1942年,气体扩散法(以及其他一两种方法)无疑地能生产大量的**浓缩铀**,而分离工厂(每座价值10亿美元,且消耗相当于整个纽约市的用电量)则建在隐秘的城市——田纳西州橡树岭。

同时物理学家正在计算**临界体积**,即维持链式反应所需的浓缩铀量,如果铀块太小,过多的中子会在被铀-235原子吸收前逃离其表面,因此为了使中子泄漏减到最小,铀块的体积按比例必须比其表面积大。在一定的临界体积时,足够的中子会被铀-235原子俘获以保持链式反应的进行。

物理学家也发现有效地使用可利用的中子的方法。正如前面

提过的,**热**(即慢)**中子**比快中子更容易被铀-235吸收,因此实验者使用**慢化材料**使由裂变反应中发射出来的高速中子减慢。本来水可成为优良的慢化剂,但是普通的氢会竭力吸收中子,而氘则较合乎要求,它几乎没有吸收中子的倾向,所以裂变反应实验者对制备重水非常感兴趣。

直到1943年,大部分重水都是采用电解法制成。由于普通的水比重水容易分解成氢和氧,因此,若电解大量水,最后剩下少许的水中便富含重水并可加以保存。1943年后,蒸馏法成为常用的方法。因为普通水沸点较低,所以最后一小部分未沸腾的水便富含重水。

在20世纪40年代早期,重水的确相当贵重。有一个感人的故事,说的是F. 约里奥-居里在纳粹德国1940年入侵之前设法将法国贮藏的重水偷运出国。另外,在挪威制备的100加仑重水则落入纳粹德国手中,1942年英国突击队在一次袭击中将其毁掉。

重水仍有缺点:当链式反应变热时它会汽化,而且会腐蚀铀。曼哈顿计划中,寻求建立链式反应系统的科学家决定,用在非常纯的石墨态下的碳作为慢化材料。

另一种可能的慢化材料是铍,它的缺点是有毒,一位在20世纪40年代早期制造原子弹的物理学家就罹患了**铍毒症**。

现在让我们设想一个链式反应。一开始就将中子流输入到慢化材料和浓缩铀的组件中,则若干铀-235原子会裂变,释放出的中子继续轰击其他铀-235原子,它们再依次裂变使更多中子释放出来。有些中子被除铀-235以外的原子吸收,某些中子会飞逸出反应堆,但如果每次裂变只产生1个中子,造成另一次裂变,那么链式反应将可以自持。如果**增殖系数**大于1,即使只大一点点(如1.001),链式反应仍将迅速进行而造成爆炸。这对做炸弹有利,但

对实验不利。某些设备必须精心制造，可以让中子通过镉棒，以控制裂变速率，因为镉棒有高的中子俘获截面。链式反应如此迅速，以致用来阻滞反应的镉棒来不及插入。幸而裂变的铀原子并不立即发射出所有的中子，大约每 150 个中子中有一个是**缓发中子**，它在裂变后数分钟才发射出来，因为它来自裂变中形成的较小原子而非直接来自裂变的原子。当增殖系数仅略高于 1 时，此种延缓的时间已足以用来进行控制了。

1941 年，从铀-石墨混合物开始实验。已累积丰富知识的物理学家认定，即使没有浓缩铀，只要铀块够大，也能产生链式反应。

物理学家在芝加哥大学开始建造一座临界体积的反应堆，当时大约有 6 吨重的纯铀可以利用，并由氧化铀加以补充。铀和石墨交互重叠，共 57 层，中间空洞以插入镉控制棒，此一结构称为**反应堆**——名称虽然隐晦，但是功能丝毫不损，像第一次世界大战期间一样，新设计的履带装甲车以**坦克**为名也是为了保密，不过坦克之名却从此确立，而原子堆后来则改为核反应堆。

芝加哥反应堆建在露天足球场看台下，宽 9 米(30 英尺)，长 9.75 米(32 英尺)，高 6.55 米(21.5 英尺)，重 1 400 吨，可容纳 52 吨铀，铀的形式是金属和氧化物(据报道，纯铀 235 的临界质量不超过 250 克)。1942 年 12 月 2 日，镉控制棒缓慢地抽出来，增殖系数达到 1，表示一个自持反应正在进行。从这一刻起，人类便进入了核时代。

当时负责的科学家是费密，维格纳特别送他一瓶基安蒂红葡萄酒以示庆贺。

康普顿当时也在场，打了一个长途电话给在哈佛的科南特，宣布成功的消息："意大利领航员进入了新世界！"科南特问："土著的态度如何？"回答立刻传来："非常友善！"

奇怪而有趣的是，第一位意大利的领航员在 1492 年发现了一

个新世界,而第二位则于 1942 年发现了另一个新世界。

核时代

当时,另一种可裂变燃料已出现,铀-238 在吸收一个热中子之后形成铀-239,再迅速变成镎-239,接着几乎一样快地又变成钚-239。

由于钚-239 原子核有奇数个中子(145),而且比铀-235 更复杂,因此它很不稳定。一个合理的猜测是钚-239 与铀-235 一样会经热中子轰击而裂变。1941 年,这个猜测经实验证实。由于仍不能确定制备的铀-235 是否能用,物理学家们决定双重投资,又尝试大量制造钚。

制取钚用的特殊反应堆于 1943 年在橡树岭和华盛顿州的汉福德建成,这些反应堆比起芝加哥的第一座反应堆是一大进步。首先,新反应堆设计成可定期地从其中移去铀,产生的钚可用化学方法从铀中分离出来,而裂变产物(有些是强中子吸收剂)亦可分离出来。此外,新反应堆采用水冷却以避免过热(芝加哥反应堆只能在短时间内运转,因为它只靠空气冷却)。

到 1945 年,已有足够的纯铀-235 与钚-239 可用来制造原子弹。这一部分工作在第三个秘密城市——新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯进行,领导者是美国物理学家奥本海默。

作为原子弹,核链式反应越快越好。这需要使该反应用快中子进行,以缩短裂变的时间间隔,故不需慢化材料。原子弹也被放在一个密闭的大箱中,以便大部分铀能长期在一起等待裂变。

由于可裂变物质达到临界质量时就会自发爆炸(由空气中杂散的中子点火),原子弹的燃料被分为两部分或两部分以上。引爆机构用的是普通炸药,它可在爆炸前将以上各部分燃料驱动在一起。安排的方式有两种,一种是所谓的"瘦子",这是一根两端有两

片铀-235的管子;另一种是所谓的“胖子”,它是球形物,其中有一层可裂变物质组成的球壳,当它内向爆炸时,会造成密集的临界质量,这是由爆聚力和名为中子反射层的厚重外壳瞬时聚合而成的,这个反应层也会将中子反射到裂变物质中,因此减少了临界体积。

要小规模地试爆这种装置是不可能的,原子弹必须在临界体积以上,否则便无效。因此第一次试爆是在1945年7月16日上午5点30分,于新墨西哥州的阿烈默哥多引爆了一颗足尺的核裂变弹(通常所说的**原子弹**或**A弹**在科学上是错误的名称),爆炸的效果真是可怕,相当于2万吨梯恩梯黄色炸药的爆炸力。据报道,在场目击的拉比在稍后被询问时悲观地说:“我说不上来,但你别指望能安享天年了。”(应当补充一下,和拉比谈话的那位先生若干年之后寿终正寝)

另外还制备了两颗原子弹,一颗是铀弹,叫“小男孩”,长3米(10英尺),宽0.6米(2英尺),重4.5吨,1945年8月6日落在广岛,由雷达回波引爆;第二颗是钚弹,3.35米(11英尺)长,1.5米(5英尺)宽,重5吨,名为“胖子”,稍后几天,落在长崎,两颗弹共有35000吨梯恩梯黄色炸药的爆炸力。轰炸广岛的时间距离核时代来临的时间只有3年左右,这震惊了全世界。

接下来的4年,美国人存有一种幻想,以为如果安全措施足够严密,可以永远不让他国得知他们拥有核弹的秘密。事实上,早在1939年,核裂变的事实和理论已成为公开的纪录,而且苏联于1940年也已全力投入这项研究。若非因为苏联在二次大战期间消耗太多资源在战事上,苏联可能到1945年和美国一样造出一颗核弹来。正因为如此,苏联在1949年9月22日引爆第一颗核弹,给大多数美国人带来了恐慌与惊愕,这颗弹具有相当于投在广岛的原子弹6倍的威力,爆炸效果等于21万吨梯恩梯黄色炸药。

1952年10月3日,英国引爆自己的试验核弹,成为第三个核

强国。1960年2月13日,法国在撒哈拉引爆一颗钚弹,正式加入"核俱乐部",成为第四个成员。1964年10月16日中国宣布引爆一颗核弹。1974年5月印度也引爆一颗核弹。

热核反应

当核裂变弹已成为平常事之际,人类又成功地引发另一种更有力的核反应,其结果是可能又会制造出更具毁灭性的炸弹。

铀裂变时,铀原子质量中只有0.1%转化为能量,但当氢原子聚合形成氦时,足有0.5%的质量变成能量,这个事实于1915年首先由美国化学家W.D.哈金斯指出。在数百万度的高温下,质子的能量已高到足以让氢原子聚合。两个质子结合形成氘原子核,氘原子核同质子聚合形成氚原子核,氚原子核与另一个质子聚合形成氦;而氘和氚原子核也会以其他种种不同的方式聚合成氦。

由于这种核反应只在高温的激发下产生,因此它们被命名为**热核反应**。20世纪30年代,人们相信具有此种高温的地方只存在于恒星的中心。1938年,德国出生的物理学家贝特(1935年离开希特勒统治下的德国,前往美国)提出,聚变反应为恒星辐射能量的来源。自从亥姆霍兹在将近一个世纪前提出此一问题以来,这是关于星体能量的第一个完整而令人满意的解释。

现在铀核裂变弹在地球上提供了必要的温度,它热得足以点燃氢聚变链式反应。有一段时期,这种反应是否能应用于制造炸弹,看来似乎非常难定。首先,氘氚混合态的燃料氢必须浓缩成稠密的物质,即它必须液化并保持在绝对温度只有几度的情况下。此外,即使可制成一个氢弹,它有什么用处呢?核裂变弹爆炸已足以摧毁城市,氢弹只会加强毁灭,并彻底消灭整个人类罢了。

尽管如此,美苏两国还是继续研究下去。美国原子能委员会继续生产一些氚燃料,并且在太平洋的一个珊瑚礁岛上建造了一

个65吨的裂变-聚变装置,并于1952年11月1日在我们星球上造成第一次热核爆炸(**氢弹或H弹**)。结果证实了不祥的预测:爆炸产生相当于1000万吨梯恩梯黄色炸药的威力——广岛核裂变弹的500倍,此次爆炸毁灭了整个珊瑚礁岛。

苏联人也不甘落后,1953年8月12日,它们也完成一次成功的热核爆炸,不过其威力轻微得可以在海平面进行。1954年,美国又造出一种可移动的聚变弹,他们在核裂变弹发明后花了7年半时间研制出这种聚变弹。然而苏联为此只用了5年。

同时,一个以更简易的方式引发热核链式反应,并将之制成一个可移动的聚变弹的计划也已构想好了,其中锂元素为开启此反应的钥匙。当同位素锂-6吸收一个中子时,分裂成氦原子核以及氚原子核,在过程中发出4.8兆电子伏的能量,接着假设以锂和氢(以其重同位素氘的形态)的化合物为燃料,由于这种化合物是固体,因此不必靠冷冻来浓缩燃料。一个裂变引爆装置会提供中子来分裂锂,而爆炸所生的热会使存在于化合物中的氘和由锂分裂产生的氚聚合。换句话说,会发生好几个释放能量的反应:锂裂变、氘与氘聚合及氘与氚聚合。

这些反应除了释放惊人的能量外,也产生许多过剩的中子。聚变弹制造者联想到:何不用这些中子去裂变一块铀呢?即使普通的铀-238也可用快中子裂变(虽然不如铀-235那样容易),来自聚变反应的快中子可以裂变数量可观的铀-238原子。假设建造一个以铀-235为核心(点火点)用锂的重氢化合物围绕的聚变弹,其外层的铀-238几乎想要多厚都可以,因为铀-238没有发生自发链式反应的临界质量,此一成品有时称为**氢铀弹**。

这种弹已经完成,1954年3月1日在马绍尔群岛的比基尼试爆,震惊全世界。当时产生的能量约为1500万吨。更引人注目的是,一场放射性粒子雨落在一艘名为**幸运龙**的日本渔船上,摧毁

了鱼货,使20名渔夫罹病,最后有一人丧生。

从1954年以来,热核弹已成为美、苏及英国军备中的一项。1967年,中国也引爆了一颗氢弹,由裂变反应发展到聚变反应仅用了3年的时间。苏联已经引爆过0.5亿~1亿吨的氢弹,而美国也充分具有即时制造这种大小甚至更大的热核弹的能力。

20世纪70年代,热核弹已发展成爆炸效果最小而辐射(特别是中子辐射)最大的形式。因此对财物的损害较少而对人类的损害更大。这种**中子弹**似乎正是那些贪心财产而轻视生命的人所想要的。

第一颗核弹用在第二次世界大战的最后几天,乃是由飞机运送,而现在已可用**洲际弹道导弹**运送,它们由火箭推进,可从地球上的一地以极高精确度瞄准另一地。美、苏两国都有大量这种导弹,全都能装备核弹头。

因此,两个超级大国的彻底热核大战如果在双方的狂怒之下进行,不消半小时就足以结束文明(也许会毁灭地球上许多维持生命的力量)。如果世界上有清醒头脑的话,那该就是这一层认识了。

原子能的和平用途

令人无法想象的毁灭性原子弹所呈现的威力,使得这些科学家们在世人心目中成为怪物,如此描述这些科学家们并不是没有道理的,因为这些科学家们在一开始就已经了解原子能的毁灭力,而且也知道这些毁灭力可能被用来制造原子弹,但他们却坦然制造出原子弹来。

我们只能公平地说,这些科学家在第二次大战时,为了抵抗残忍的敌人,而且害怕像希特勒那样疯狂的人会先得到原子弹,因而才投入研究原子弹的工作。此外,科学家们在研究原子弹的整个

过程中,感到十分困扰,甚至有许多人反对使用原子弹,而有些人事后不再从事原子核物理的研究,留下很大的遗憾。

1945年,一批科学家在诺贝尔奖获得者弗兰克的领导下,向美军参谋本部提出请愿,表示反对向日本城市投掷原子弹,并且正确地预测使用原子弹会造成核危险的困境。但是这些理由似乎没有刺痛军政领袖们的良心,他们仍然做出了使用原子弹的决定,由于某些理由,这些军政领袖被许多人视为"爱国者",而科学家们反而被这些人视为怪物。

我们不能忽视一个事实,科学家找到释放原子核能的方法,而原子核能到底是用于建设还是用于破坏则完全由人类自己去决定。必须强调的是,像美国这种有强烈卢梭主义传统的国家,认为读书不应该成为破坏人类善良本性的途径,因此世界上有核毁灭的威胁存在,就足以使科学家和科学界蒙羞。

然而原子弹爆炸并不一定要全用在摧毁上,像爆炸力较小的化学炸药,长久以来被用于采矿、建水坝及造公路等工程上,原子弹的爆炸力也可能对建设计划有所帮助。人们提出如下利用原子弹爆炸力的构想:用于挖掘港口、开凿隧道、炸毁岩层,以热能发电,甚至用于宇宙飞船的推动力。然而在20世纪60年代,这些希望都破灭了,由于辐射污染的危险及昂贵的费用,使得这些希望不能实现。

然而设在芝加哥大学足球场内的反应堆,提供了核能用于建设的榜样。良好控制的反应堆能够产生大量的热能,这些热由冷却剂带出,冷却剂可以是水或是熔融的金属,而这些被带出的热可以用于发电或空调(图10-4)。

核动力船和潜艇

发电用的反应堆在第二次世界大战后的数年内分别在美国及

英国建成。现在美国已拥有100艘以上的核动力潜艇。其中第一艘**鹦鹉螺号**花费5000万美元,在1954年1月下水。这艘潜艇的发动机使用核能,它的重要性就如同富尔顿的汽船**克里门号**对富尔顿那个时代的重要性一样。由于发动机使用核能作动力,所以此核动力潜艇可以停留在水底一段很长的时间。然而一般潜艇,由于其柴油发动机必须有空气才能工作,并且要为蓄电池充电,所以必需经常浮出水面以补充其发动机所需的空气。一般潜艇的时速只有8海里,而核动力潜艇的时速则可高达20海里以上。

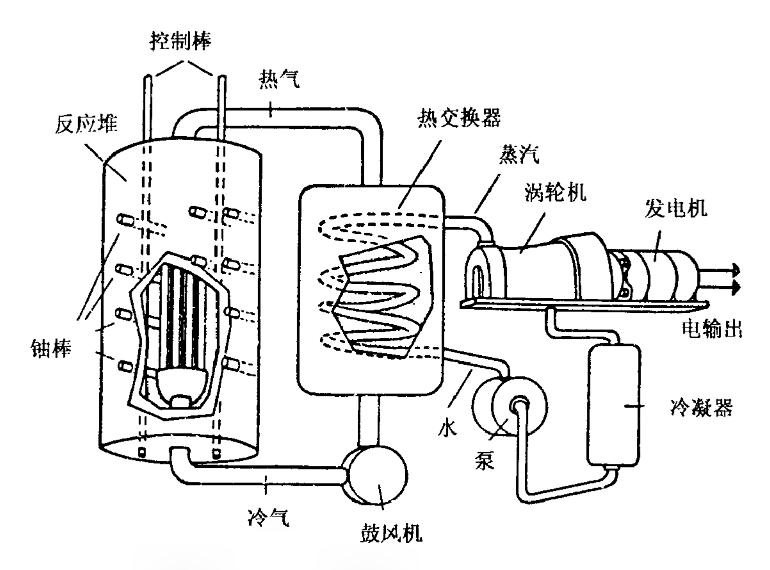


图10-4 气冷式核电厂 此图为其概要设计,反应堆中的热传导给某种气体,而此气体可能是一种金属蒸气。由此高温金属蒸气再将热传导给水,水加热后变成水蒸气,此时就可以利用水蒸气来推动涡轮发电机了

鹦鹉螺号上的反应堆堆芯持续使用了10万余公里(62500海里)(包括潜航北极海的航程在内)。1958年**鹦鹉螺号**在潜航北极海的旅途中,发现北极海底的深度是4000米(13410英尺),比从

前想象的深度深得多。其中第二艘更大的核动力潜艇**海神号**,在1960年2月至5月,以84天的时间,循当年麦哲伦绕行地球一周的路线,以潜航的方式绕地球一周。

现在苏联也拥有核动力潜艇,而苏联第一艘核动力水面船是一艘破冰船,即**列宁号**,于1957年12月下水。在此前不久,美国也刚安置了一艘核动力水面船的龙骨。1959年7月,美国的两艘核动力水面船**长堤号**(巡洋舰)和**草原号**(商船)正式下水,其中长堤号是由两座反应堆推动的。

美国在其第一艘核动力船下水不到10年的时间里,有4艘核动力水面船正在使用、制造或准备制造。然而,除了核动力潜艇之外,制造核动力水面船的热忱却在减退,**草原号**每年所花的费用高达300万美元,所以它在1967年经过8年的航海生涯后就退役了。

核电厂

核能并不是只有军事上的用途,而第一座用于发电的反应堆于1954年6月在苏联首先启用。这是一座小型的核电厂,总容量不超过5000千瓦。1956年10月英国的卡德侯核电厂开始运转,其容量超过50000千瓦。美国是世界上第三个拥有核电厂的国家,1958年5月26日西屋公司在宾夕法尼亚州希平波特这个地方完成了一座小型的反应堆,这个反应堆用于发电,其容量大约60000千瓦。此后其他国家的核电厂也相继诞生。

仅在此后10年多一点的时间里,就有12个国家拥有反应堆。美国将近一半的电力来自核能。1965年4月3日,一枚发射到太空中的卫星甚至是由小型反应堆供应电力。然而放射性污染则是一个严重的问题,因此在20世纪70年代公众对核电厂的激增表示了愈来愈强烈的反对立场。

1979年3月28日,在海里森堡附近萨斯奎哈纳河中的三哩岛上,发生了美国历史上最严重的核事故。事实上并没有散出大量的放射性物质,因此对人体并没有危险,虽然如此,仍然引起了数天的恐慌。三哩岛的反应堆目前已被无限期停止运转,而清除的工作却是非常昂贵并且需要很长的时间。

然而最大的受害者是核能工业。反核情绪的浪潮席卷了美国,也席卷了其他各国。在美国,新的反应堆能够运行的机会愈来愈渺小了。

三哩岛事件使美国人了解到,核污染即使发生的概率并不大,结果也是非常可怕的。在此事件后,似乎更加强了人们反对核武器的意识,这种情形对任何一个有理性的人来说或许是一个好的结果。

虽然如此,原子能的和平用途仍然不能放弃,因为人类需要大量能源。在本章前面已经指明,我们不可能长久依赖化石能源,也不能期望将来由太阳能取代大部分的能源,但是似乎很少有人指出,在适当的安全措施下,原子能并不比化石能源危险(在某些特别的辐射污染方面,人们必须了解,煤也含有某些微量的放射性不纯物,燃烧时会释放出比核电厂更多的放射性物质到大气中——至少人们是这样争议的)。

增殖反应堆

假如只考虑利用核裂变的能量来当作我们的能源,那我们能使用多久呢?假如我们完全依赖可裂变的铀-235来当作我们的能源,那也不能维持很久的时间。但是非常幸运的是,我们可以利用铀-235来产生其他可裂变的能源。

我们知道钚是人造的核燃料。假如我们建造了一个小型反应堆,用浓缩铀作燃料,在其外包上一层天然铀,不加入慢化剂,于是

铀-235裂变所产生的快中子会打入外层的铀-238中。假设大部分的中子都能轰击到铀-238,则每一次铀-235的裂变都能在外层产生1个或1个以上的钚原子,因此我们所增殖出的核燃料比所消耗掉的更多。

1951年,第一座**增殖反应堆**在加拿大血统的美国物理学家津恩的指导下于爱达荷州的阿尔科建成。这座反应堆被称为EBR-1(一号实验性增殖反应堆)。除了证明增殖的可行性外,也同时证明它具有发电的功能,这座反应堆在1964年由于过于陈旧而不再使用。

通过增殖可从铀中增加核燃料的供应,最普通的铀的同位素铀-238成为有潜力的核燃料。

钍也是一种很有潜力的裂变性燃料。在自然界中,钍全部以钍-232的形式存在,在吸收快中子之后,钍-232马上转换成人工同位素钍-233,钍-233又立刻衰变成铀-233。铀-233吸收慢中子而裂变,并且可以维持自身链式反应,因此钍也可用于核燃料。在地球上,钍的含量约为铀的5倍,事实上地球表层数百米深的泥土中,平均每一平方公里含有4600吨的钍和铀,当然这些钍和铀并不是很容易就可以加以利用的。

一般而言,由钍和铀中得到的能量,大约为现存煤及石油的20倍。

然而人们对增殖反应堆会造成污染的忧虑要比对一般反应堆大得多,因为钚比铀更危险,而在增殖反应的过程中将会产生大量的钚,而且有人认为钚是世界上最有毒的物质,假如钚进入我们的环境中,那将是无法挽救的大灾难。人们也忧虑用于和平用途的钚,有可能被劫夺或被偷走,而用于制造原子弹或是用来从事敲诈及勒索。

这些忧虑或许被夸大了,然而这些忧虑都是有理由的,不仅意

外事件或偷窃令人忧虑,就算反应堆在运行时没有意外的情况,也存有几分危险性。为了能了解这个理由,让我们来谈谈放射性及高能辐射。

辐射的危险

地球上的生物一直暴露于自然放射性及宇宙射线的照射之下,然而实验室中产生的 X 射线以及地壳内痕量的放射性物质,例如镭,也增加了对人类生命的威胁。一些早期研究 X 射线及镭的工作者接受了致死剂量,如居里夫人及其女儿 I. 约里奥-居里都因接受了过量的放射性物质而死于白血病。还有一个有名的例子,20 世纪 20 年代一些给表面涂夜光的人,常用嘴把顶端含有镭的笔弄尖,结果也死于放射性所引起的病症。

由于 X 射线的使用率增加,在最近几十年中,白血病有增加的趋势。医生比较容易暴露在 X 光的照射下,因此医生得白血病的可能性为一般人的 2 倍,而专门研究如何应用 X 射线的放射科,其工作人员得白血病的可能性更高,为一般人的 10 倍。因此人们想去寻找能取代 X 射线的其他技术,例如超声波技术就是其中之一。核裂变的到来给这种危险增添了新的力量。无论是原子弹或是核电厂,释出放射性物质的规模,会使整个大气、海洋、我们的饮食或呼吸的空气污染,对人类生命造成越来越大的威胁。核裂变已成为污染的一种形式,它需要人们以智慧加以控制。

铀及钚的原子核裂变后,它们的**裂变产物**有许多种,这些碎片可能包括钡和锝的同位素或其他物质。全部算起来,大概可以识别出 200 种不同的放射性裂变产物。这些裂变产物很令人头痛,因为其中某些物质强烈地吸收中子,以致裂变反应不能顺利进行,所以反应堆中的燃料必须定期移出,并且加以纯化。

再者,裂变后的碎片由于辐射的能量和性质的不同,在不同程

度上对人体都有害处，例如 α 射线比 β 射线对人体的危害更大。原子核衰变速率也是很重要的因素，衰变速率快的原子核比衰变速率慢的原子核在每秒或每小时之内轰击接受者的次数更多。

只有大量的放射性原子核聚集在一起的时候，才能谈得上衰变率。单个的原子核可以在任何时候衰变，可能一瞬间就衰变，也可能到 10 亿年之后才衰变，或者在 10 亿年间的任何时候衰变。但是每一种放射性物质都有自己的平均衰变率，所以当大量的原子核在一起时，我们就能很准确地预测在单位时间内有多少原子核进行衰变。假设我们实验一种会衰变的 X 原子，这种 X 原子每年衰变其中的 1/2，则原有 1000 个 X 原子，在一年之后只剩下 500 个，再一年后剩下 250 个。如此类推，第三年后剩下 125 个原子。而对具有放射性的原子核而言，衰减其中一半原子核所需的时间叫做**半衰期**，这名称在 1904 年由卢瑟福所提出，因此 X 原子的半衰期是一年。在一般的情形之下，半衰期是不会改变的。只有在星球内部，因为温度很高，有其他高能粒子撞击原子核，才会改变它的半衰期。

铀-238 的半衰期是 45 亿年，这就是为什么铀-238 虽不断衰变，但到现在地球上仍存有铀-238 的原因。简单的计算即可显示出，经过大约半衰期的 6 倍时间后，铀-238 的原子核就会只剩下原有的 1%，所以现在地壳中每吨铀-238 在 300 亿年之后仍有 0.9 公斤存在。

虽然同位素有相同的化学性质，但是核反应的特征却完全不相同。例如，铀-235 衰变率是铀-238 的 6 倍，铀-235 的半衰期只有 7.1 亿年，所以数亿年前铀-235 的量要比今天多，这也是现在世界上铀-238 的量远比铀-235 丰富的原因。根据估计，60 亿年前地球上铀-235 的量占所有铀量的 70%，所以说人类只赶上铀-235 存在时间的末期。然而就算人类晚 100 万年才发现核裂

变,那时地球上仍有现今铀-235的99.9%。

半衰期少于1亿年的原子核,在地球长远的年代里已经完全衰变了,因此现今在自然界中再也找不到钚的踪迹,钚的同位素中钚-244有最长的半衰期,但钚-244的半衰期也只有7000万年。

铀和钍等半衰期较长的放射性元素,以稀薄的浓度散布于地壳中的石块及泥土内,因此在空气中仍有微量的放射性。人类本身也有微量的放射性,因为在人体的组织中存有不安定的钾-40同位素,钾-40的半衰期是13亿年。钾-40衰变后会生成氩-40,而氩40可能就是因此种衰变过程而成为地球上最普通的惰性气体,因此钾-40及氩-40的比值可以用来测定陨石的年龄。

碳也有放射性同位素碳-14,然而碳-14的半衰期只有5770年。由于半衰期非常短,照理来说碳-14不应存在于现在的地球上。但是,由于宇宙射线粒子不停地轰击地球大气的氮原子,因此碳-14同位素可以不断地被产生出来。结果大气中总是存在着微量的碳-14。有些碳-14会成为大气中的二氧化碳,由于二氧化碳可以被植物吸收,所以碳-14就进入植物组织中,进而散布至动物体内,连人也不例外。

碳-14在人体内的总量比钾-40要少得多;但是碳-14有较短的半衰期,其衰变率要比钾-40大很多。因此在同一时间内,人体中碳-14的衰变总次数约为钾-40的1/6。然而有一些碳-14是存在于人体的基因内,假如这些碳-14发生衰变,对细胞就会有很深远的影响,而钾-40的衰变就不会发生这种情形。

就是因为这个理由,碳-14是人体中最具有意义的放射性元素。碳-14引起基因改变的可能性,在1955年由俄国血统的美国科学家阿西莫夫(生物化学家)所提出。

许多种天然的放射性原子核及放射线(如宇宙射线及γ射线)构成了**本底辐射**。持续性地暴露于本底辐射中,可能是进化中基因

突变的原因之一，当然自然辐射也要为癌症的产生负部分责任。虽然生物在自然辐射中生活好几亿年，但核辐射却因镭的实验及核反应堆的产生而在我们这一代中造成严重的灾祸。

在曼哈顿计划实行之前，物理学家从痛苦的经验中了解到辐射的危险。曼哈顿计划的工作者都接受了良好的防护措施，那些刚裂变的产物和有放射性的物质，都被置于厚厚的屏蔽墙内，人们只能透过铅玻璃才能观看那些物质。

操作这些物质都采用机械遥控法，每一个人都必须带着照相胶片或其他探测仪器，用来监控所接受的累计剂量。经一连串的动物实验能够估算出**最大辐射容许剂量**。哺乳类比其他的生物对放射性要敏感，但对最大辐射容许剂量以下的辐射仍有抵抗能力。

虽然有好的防护措施，仍有一些原子物理学家死于过量辐射所引起的**放射病**。其实，纵使是最安全的工作，也有风险。由于我们对灾难了解并采取预防措施，核能工作者已比从前更安全了。

现在世界上到处都有核动力堆，它所产生出来的废料是以吨和千吨来计算的，这些核废料到底要如何处理呢？

大多数的废料是短寿命的放射性物质，当放置数周或数月后就会成为无害的物质。这些短寿命的放射性废料，在储存一段时间后就可倾卸掉。然而最危险的物质是半衰期由1～30年不等的核素，因为短寿命核素可以放出强的辐射，而长寿命核素对好几代人都有危害。半衰期为30年的核素，需要两个世纪才能失去其99%的放射性。

核裂变产物的利用

核裂变产物可以很好地加以利用。作为能源，它可供给小型的设备或仪器以动力。由于放射性同位素所发射粒子的能量可以转换成热，因此可以借热电偶将热转换成电，以这种方式产生电的

电池通常称为**核辅助电力系统**,或者称为**原子电池**或**核电池**。这种原子电池只有1.8公斤重,却可发生60瓦的电力,并且可以持续数年之久。原子电池已用于人造卫星,例如,1961年美国发射的两颗人造卫星,即**子午仪4A号**与**子午仪4B号**。

在原子电池中最常用的同位素是锶-90,锶-90在下一节中再提到,而钚和锔也常被用到。

登月宇航员在月球上放置了这样的原子电池。这些电池供应一连串实验设备和无线电通信所需的电力。这些电池正常地工作了许多年。

核裂变产物在医学上也有许多用途,例如可用于治疗癌症,可用于杀死细菌以保存食物。在工业上也有许多用处,以化学工业为例,赫剌克勒斯火药公司设计了一个反应器,用放射线来制造抗冻剂乙二醇。

虽然上面说了一些裂变产物的用途,但是反应堆释放的裂变产物中只有一小部分能被再利用,这表示原子能发电有一个很大的困难。根据估计,原子能每发出20万千瓦的电力,将产生680克的核废料。如何处理这些核废料呢?美国在地底下已储存了数百万加仑的放射性液体废料,到2000年,估计每天将有50万加仑的放射性液体必须加以处理。美国和英国的做法是将此种废料固封于混凝土容器中并倾倒于海里,过去就有人提议将废料置于深海的海沟中,或置于废弃的矿坑内,或固封于玻璃体中再埋入地下,但人们仍然担心万一这些核废料从容器中泄漏出来将会污染海洋及土壤。另一项令人忧虑的是核动力船只可能在被破坏后泄出它累积的核废料。1963年4月10日美国一艘核动力潜艇**长尾鲛号**在北大西洋沉没,当时人们担心放射性物质将会泄于海上,还好这种情形并没有发生,也没有任何核污染产生。

放射性沉降物

虽然原子能的和平用途仍有放射性污染，至少这些污染能被很成功地以各种方法加以控制，但是由原子弹爆炸所造成的放射性沉降物就无法加以控制，而会造成全世界的污染。

纵使不发生核战争，原子弹爆炸也产生放射性沉降物。任何一个国家在大气中进行核试爆都会被测出来，因为放射性沉降物借风可以被带至全世界，经由雨水而降落至地面。发生核战争时，最后放射性沉降物对生物所造成的伤害将远比被攻击所受的灾害要严重。

放射性沉降物可以分成三种型式：**当地型，对流层型，平流层型**。当地型放射性沉降物是由于原子弹在地表爆炸后，放射性同位素由强风带至方圆 160 公里内的地方被泥土吸收。千吨级的原子弹所造成的强风可将裂变产物带入对流层，这些放射性沉降物可停留在对流层中约一个月之久，在这一个月中，由于风的缘故，可向东方移动数千公里。

由超级热核弹所造成的大量放射性物质可以到达平流层，这样的平流层型放射性沉降物将在一年之内散布于半个地球，亦即将同时落在攻击者和被攻击者的土地上。

1954 年 3 月 1 日，美国在太平洋试爆一枚氢弹，结果造成强烈的放射性沉降物，科学家们对此都大吃一惊，他们没想到来自氢弹的放射性沉降物如此“脏”，多达 18 000 平方公里（7 000 平方海里）的区域被严重污染，约相当于马萨诸塞州的大小。后来科学家们了解到，聚变核心是由铀-238 包围的，铀-238 经中子轰击而裂变。这种氢弹，不仅威力强，而且产生的云雾中也含有大量的放射性物质，其污染性远比落在广岛的那枚原子弹严重。

由原子弹试验所产生的放射性沉降物，迄今只增加了小量的自然背底，但是即使辐射比自然背底小量地增高，也可能提高癌症

发生率,产生遗传上的损害并减少平均寿命。放射性沉降物至少也会增加突变率(参看第十三章有关突变的讨论),给后代累积下大量的麻烦。

在放射性沉降物中有一种放射性物质锶-90(半衰期为28年)对人体特别危险,而锶-90却是原子电池的重要动力来源。锶-90落入泥土和水中被植物吸收后,再进入直接或间接地以植物为食的动物(包括人)体内。因为锶-90的化学性质和钙相近,并且能进入骨骼中停留很长的一段时间,因此锶-90对人非常危险。因为骨骼中矿物的转换不像身体其他组织那么快,所以锶-90一旦被吸收后,几乎一生的时间都会停留在体内(图10-5)。

锶-90是我们环境中的一种新物质。在科学家裂变铀原子以前,地球上几乎没有锶-90的存在,但是迄今不到30年,锶-90已进入每一个人的骨骼中和所有的脊椎动物体内,另外,相当大量的锶-90仍悬浮在平流层中,这些锶也迟早会进入人体的骨骼内。

锶-90的浓度是以**锶单位**来表示的,体内每克钙中含有1微微居里的锶-90称为1锶单位。**居里**是放射性活度的单位,1居里表示1克镭及其裂变产物氡处于平衡状态时的情形。更简单地说,1居里是每秒370亿次衰变,而1微微居里就是平均每分钟有2.12次衰变。因此1锶单位表示体内每克钙中每分钟有2.12次衰变。

人体骨骼内锶-90的含量因人因地而有很大的差异,有些人锶-90的含量是人类平均值的75倍。儿童由于骨骼成长的原因,锶-90的平均含量至少是成人的4倍。因为锶-90含量的探测是以饮食中的含量为准,因此在计算平均值时,本身就有很大的变化。来自蔬菜中的钙比牛乳中的钙含有更多的锶-90,因为乳牛吸收了来自牧草的锶90,由此得知,牛奶并非特别危险的食品。在1959年禁止大气核试爆以前,美国人骨骼中锶-90的含量从不

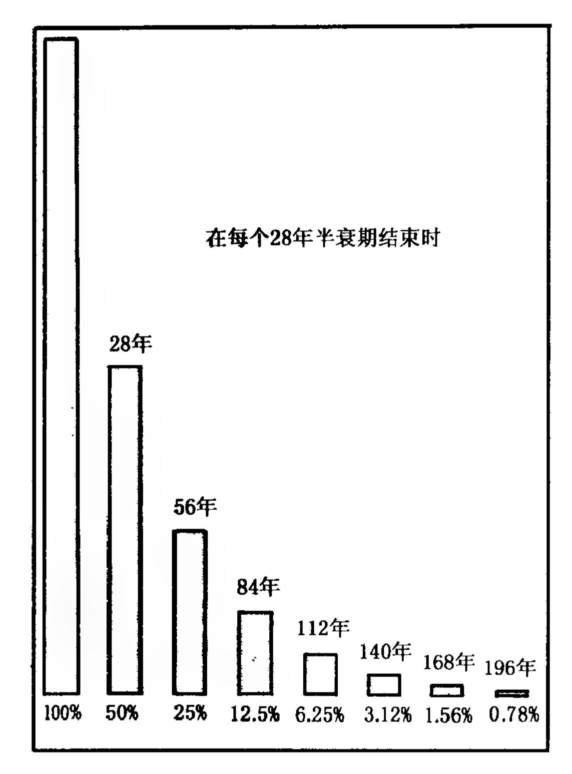


图 10-5 锶-90 在大约 200 年时间里的衰变

到 1 个锶单位到 5 个锶单位不等，而国际辐射防护委员会认为，67 锶单位是锶-90 的最大容许含量，但是这些平均值似乎没有什么意义，因为锶-90 可能集中在骨骼中的某些热点，当这些点的锶-90含量达到高水平时，就可能引起坏血症或癌症。

由于辐射的影响相当重要，因此人们采用了一些单位来计算这些影响。**伦琴**就是其中之一，这个名称是为了纪念 X 射线的发现者伦琴而命名的，当做单位用时则表示由 X 射线或 γ 射线所产

生的离子数目。最近**拉德**这个单位也开始使用，每克放射性物质放出 100 尔格的能量而被其他物质吸收就叫 1 拉德。

辐射的性质是重要的，1 拉德重粒子引起组织的化学变化，远比 1 拉德轻粒子有效。所以就同能量的 α 粒子及电子来说，α 粒子要远比电子危险。

在化学上，由辐射所造成的损伤，其主要原因是水分子经放射性照射后分解成活性极强的**自由基**，而且水是生物组织中最主要的构成物，这些自由基和组织中复杂的分子产生反应后造成骨髓的伤害，阻碍血细胞的制造。这种对骨髓的伤害就是放射病，假如过于严重，骨髓无法恢复功能就会导致死亡。

许多著名的科学家认为，核试爆所生成的放射性沉降物是对人类生存最严重的灾害。美国著名的化学家泡令认为，一枚核弹的放射性沉降物会使世界上 10 万人死于坏血症及其他疾病。他指出，由核爆炸中子所产生的碳-14，会造成遗传上的严重危险，因此他积极促请停止核试爆，也尽所有的努力以减少战争的危险并敦促裁军。另一些科学家包括匈牙利血统的美国物理学家泰勒却认为，核爆后的放射性沉降物并没有想象的那么严重。1963 年泡令获诺贝尔奖，因此可知世人或许比较同意泡令的说法。

1958 年冬天，美国、英国和苏联签订了一项君子协定，暂停大气核试爆。虽然如此，并没有阻止 1960 年法国的第一次大气核试爆。在此后的 3 年内，情形似乎非常乐观；至 1960 年锶-90 的浓度已达最高点，但其浓度仍在安全许可浓度以下。在这 13 年中，共有 150 枚原子弹爆炸，这些核试爆释放出 2 500 万居里的锶-90 和铯-137(另一种有害的裂变产物)。这些核弹中，虽然只有 2 枚用于战争，但已造成极大的灾害。

1961 年，苏联在没有告知美、英两国的情形下，破坏了 1958 年的协议，再次进行核试爆。由于苏联试爆的热核弹，其威力之强

前所未见,美国在此情势下被迫再进行核试爆。世界的舆论因此针对禁止核试爆协议的破坏大加挞伐,表示了极端的愤怒。

1963年10月10日,三个主要的核大国签订了部分限制核武器试爆的条约(非君子协定),条约中禁止采用大气试爆、太空试爆及水中试爆,只有地下核试爆才被允许,因为地下核试爆不会产生放射性沉降物。这是自原子能时代开始以来挽救人类生存最有希望的一项提案。

受控核聚变反应

30多年以来,核物理学家一直梦想着受控核聚变,并利用其能量。核聚变所产生的能量,终究是我们这个世界生生不息的动力,太阳上的核聚变反应,正是各种生命所需能量的主要来源。假如在地球上能制造核聚变反应并加以控制,所有的能源问题都能解决;而且由于核聚变的原料是氢,所以核聚变所需的原料会像大海一样取之不尽。

事实上,氢并不是第一次被人类当作燃料,在氢被发现及研究后不久,它就成为一种化学燃料,而且美国科学家黑尔早在1801年就设计了氢氧焰,此后氢在氧中燃烧所产生的高温火焰一直被工业界使用。

液态氢是火箭中非常重要的燃料。有人甚至建议将液态氢用做一种清洁的燃料,他们建议将液态氢用于发电及作为交通工具的动力来源(虽然如此,氢氧在空气中却极易爆炸)。但是,将氢当作核聚变的原料,这是它将来最了不起的用途。

核聚变产生的能源比核裂变产生的能源便于利用,就相等的质量来说,核聚变反应比核裂变反应多释出4～9倍的能量。0.45公斤的氢经核聚变后能产生3500万千瓦小时的能量,而且核聚

变所需的氢同位素能从海洋中大量轻易地取得,而核裂变所需的铀矿和钍矿,其提炼却是一项困难的工作。另外,核聚变所产生的中子及氢-3同位素,也不像核裂变产物那样危险。最后也是最重要的,即假如发生意外,核聚变反应会减弱,然后停止,而核裂变反应却无法加以控制,甚至可能使反应堆中的铀熔化,而释出危险的放射性物质(但到目前为止尚未发生过这种情况)。

假如受控核聚变反应在将来可以付诸实行,那么核聚变原料将不虞缺乏,而被聚变反应释出的能量也足可供应地球数十亿年的需要(几乎和地球的寿命同长)。惟一可能的危险性是热污染,因为核聚变反应所排出的废热,加上由空间进入地球的辐射能,会使地球的温度稍微上升,造成类似温室效应的结果。在地球上,任何异于太阳能的其他能源,如要加以利用,事实上都有发热的问题。将来在空间站上的太阳能电厂,也会使自然热吸收量增加,因此人们必须限制自己能源的使用或者找出从地球上排热至空间的方法,使从地球向空间的排热比自然排热速率稍快一些。

然而上面的论点都是基于理论上的讨论,只有在实验室中能对核聚变反应加以控制才能将其运用于商业上。但是经过了30年的努力,我们仍然无法达到这一目标。

氢的三种同位素中,氢-1是最常见到的,但却是最难核聚变的。氢-1也是太阳上特殊的核聚变原料,因为太阳有数十兆立方海里的体积,其强大的引力使得氢-1聚集在一起;由于其中心温度高达数百万度,因此氢-1可在太阳上进行核聚变反应。太阳有大量的氢-1,但在给定时间只有极小部分的氢-1在进行核聚变反应,其实只要有一小部分的氢-1进行核聚变反应就足以产生大量的能量了。

氢-3同位素(氚)最容易进行核聚变反应,但是其含量非常稀少,若要提取它,必须先消耗大量能源。因此氢-3同位素并不适

合成为核聚变反应的实用性材料。

氢-2同位素(氘)比氢-1容易处理,而且含量比氢-3多。世上所有的氢中,每6000个氢-1原子中才有1个氢-2原子,但是即使如此也已经足够了。海洋中有35兆吨氢-2同位素,这些量足以供给人们将来对能源的大量需求。

但问题依然存在。或许有人会觉得惊讶,人类可以利用核聚变原理制造氢弹,为什么却不能制造出核聚变反应堆呢?因为制造氢弹需要一个裂变式的原子弹进行引爆,借原子弹爆炸的高温和高压来引发氢的核聚变反应。制造核聚变反应堆则需要一个较和缓的点火器,显然我们必须使反应堆中的核聚变反应在固定而且和缓的速率下进行,而不是在氢弹那样爆炸性的速率下进行。

获得一个和缓的核聚变反应点火器并非难事,强大的电流、高能量的声波、激光束等都能在极短的时间内产生数百万度的高温,无疑地,核聚变反应所需的高温是可以达到的。

维持高温使正在聚变的氢能停留在适当的位置却是另一回事。因为氢核聚变要求温度高达1亿度以上,所以没有任何物质可以用做氢的容器。这样,不是容器被气化,就是降低氢的温度。解决问题的第一步是降低氢的密度,并使其压力远低于正常压力,此时,虽然氢的能量仍然高,但可以减少其热含量。解决问题的第二步是一个极聪明的方法,即当气体在非常高温时,所有的电子都会脱离原子核的束缚,而形成**等离子体**(20世纪30年代由朗缪尔所提出),它是由自由电子和脱去电子的原子核所构成。既然等离子体是由带电粒子所构成的,我们为什么不用强大的磁场来控制等离子体在容器中的位置呢?从1907年起,大家就知道磁场能限制电荷并且将它压挤在一起如同水流一般,这种效应称为**箍缩效应**。**磁瓶**(图10-6)的构想过去实验过并且证明有用,但是只在一瞬间内,一小片等离子体被磁场限制于磁瓶中,很快地就像蛇一

样扭曲、解体,然后消失。

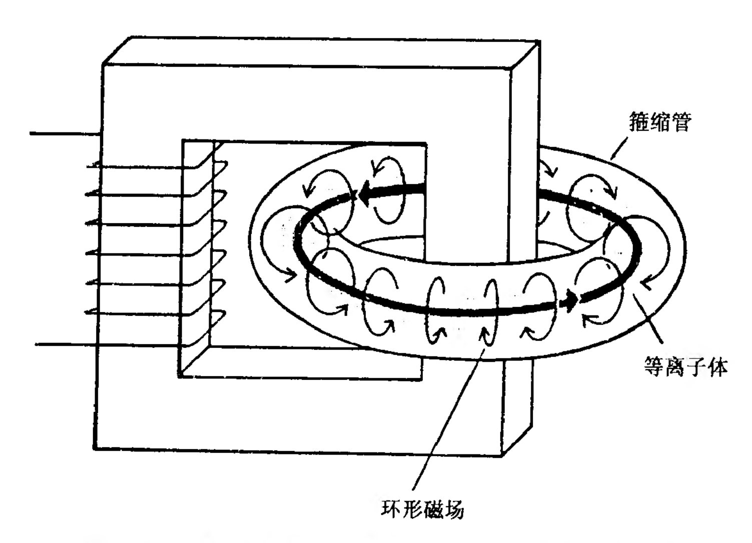


图 10－6　保存氢核热气(等离子体)用的磁瓶。环状物称为环面

另一种方法是在管末端加较强的磁场,如此等离子体就向管末端推移,虽然等离子体仍有漏出,但情形并不严重。假如在 1 亿度时,等离子体在适当的位置固定 1 秒钟,那么核聚变反应即可发生,能量也可以释出系统之外。这些被释出的能量可以用来加强外界磁场,使得温度保持在适当的范围内,如此核聚变反应就可以自行维持下去,也就是利用核聚变反应本身的能量让反应堆维持下去。但是要使等离子体在短短的数秒钟内不漏出,却是目前仍然无法做到的事。

因为等离子体很容易自管末端漏出,为什么不除去末端而采用形状类似炸面圈的管子呢？一种特别有用的设计就是将炸面圈状的管子扭成 8 字形。1951 年,斯皮策设计了一种 8 字形的装置称为**星温磁缩聚变器**。另一种有用的装置是由苏联的物理学家阿

希墨维克所设计的,这种装置称为**环形卡马拉流磁机**或简称为**托卡马克**。

美国物理学家除了使用托卡马克之外,还使用一种称为**斯库拉卡**(Scyllac)的装置,因为能够容下浓度较大的气体,因此围堵时间较短。

将近20年来,物理学家已经一步步向核聚变动力迈进,虽然进展十分缓慢,但并不表示利用核聚变是件完全不可能的事。

在科学家研究利用核聚变能量的同时,另一种实际的应用却被发现了。等离子体焰的喷出物高达5万摄氏度,在科学理论上普通的化学火焰是绝对无法达到此种温度的,因此等离子体焰对废弃物可进行最终处置。等离子体焰中的任何物质都会分解成其组成元素。因此有用的元素都可经此步骤而加以回收利用。

(安石生 安锦绣 译)

装帧设计 刘葶葶

阿西莫夫最新科学指南（上）

作为纯粹的生物体，人类很难与地球上占据任何特定生活环境的生物竞争。人类之所以能支配地球，是因为人类有一个相当重要的特化器官——脑子。

在探索宇宙的奥秘中，人类表现出不屈不挠的精神，他们以科学的方法为工具不断取得成效。凡是被此所强烈吸引的人，无不对科学的迅速发展感到激动和欢欣。


ISBN 7-214-02388-1
9 787214 023889 >

ISBN 7-214-02388-1
G·733 定价：(上、下)48.00元